

科学技術動向

2002

9

No.18

科学技術トピックス

▶ ライフサイエンス分野

- ①医学領域でのトランスレーショナル・リサーチとは？
- ②大阪大学に我が国初の糖鎖治療学寄付講座を開設

▶ 情報通信分野

- ①第15回国際真空マイクロエレクトロニクス会議報告
- ②超伝導を用いた量子コンピュータ素子の開発

▶ 環境分野

- ①衛星で収集された海氷などのデータの評価分析が進展

▶ ナノテク・材料分野

- ①地上で初めて卵型構造金属粉体の作製に成功
- ②室温で動作するスピン・トランジスタの可能性が原理的に示された

▶ エネルギー分野

- ①省エネ・環境性を追求した自動車用電源の42V化への動きが活発化
- ②エネルギーの外部性評価研究がスタート

▶ 製造技術分野

- ①イオン性液体膜による有機化合物の分離の可能性が示された

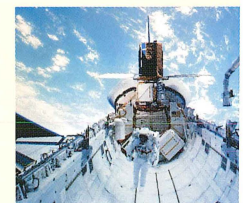
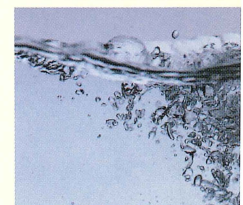
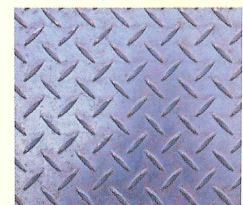
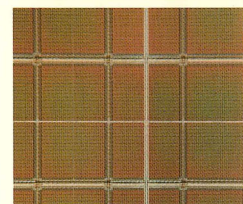
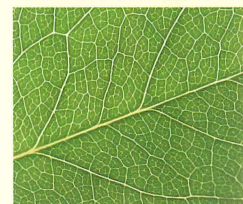
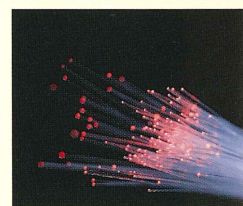
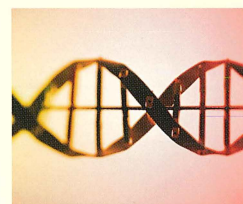
▶ 社会基盤分野

- ①東南海地震に関係したとみられる分岐断層の形状が明らかにされた

特集 1 バイオリソース（生物遺伝資源）の現状と将来

特集 2 グリッド技術の動向 — 次世代インターネット利用の中核技術になるか —

特集 3 MEMS研究の新展開



科学技術トピックス

ライフサイエンス分野

5

①医学領域でのトランスレーショナル・リサーチとは？

トランスレーショナル・リサーチという言葉が具体的に何を意味するかはまだ混乱のあるところであるが、Nature Medicine誌の“What is translational research?”という記事では、基礎研究からでてきた成果を臨床の場で評価する研究こそトランスレーショナル・リサーチとして相応しいと述べている。この記事では、研究者主導による具体的な治療目標の設定と評価をトランスレーショナル・リサーチの大きな目的と主張しているが、我が国においてもこのような研究を推進することは、研究者の発想を生かし、大学病院の目的である新しい医療の創造に寄与するとともに、我が国の製薬企業の競争力の育成にも役立つものと思われる。

②大阪大学に我が国初の糖鎖治療学寄付講座を開設

近年のゲノム研究の飛躍的な進歩に伴い、ポストゲノム分野の研究に世界各国がしのぎを削っている中、糖鎖研究の分野が最も注目を集めるテーマの1つとなっており、糖鎖遺伝子を利用した創薬や治療が脚光を浴びている。本講座の設置により、大阪大学の特に糖鎖工学分野における国際的優位性と企業の研究成果を有機的に統合し、糖鎖および糖鎖遺伝子を利用した病気に対する新たな診断・治療へのアプローチを行い、効果的に産学連携の共同研究を推進することができるとと思われる。

情報通信分野

7

①第15回国際真空マイクロエレクトロニクス会議報告

フランスで微小冷陰極（フィールドエミッタ）を用いたフラットパネルディスプレイ（FED：電界放出ディスプレイ）や新デバイスに関する第15回国際真空マイクロエレクトロニクス会議が開催された。FEDは大型ディスプレイの有力候補として注目されているが、性能と生産性・コストが両立する微小冷陰極製造技術が確立されていない点が実用化への問題点である。今回の会議では冷陰極材料として注目されている薄膜ダイヤモンド、カーボンナノチューブの基礎的な研究で興味深い結果が報告された。一方、デバイス分野では飛躍的な進歩は見られなかった。

②超伝導を用いた量子コンピュータ素子の開発

米国で開催された超伝導応用会議において、超伝導を用いた量子コンピュータ素子の開発に関する発表がなされた。超伝導を用いた素子は他の方式の素子に比べて量子コンピュータを実現するのに必須な量子力学的相関関係が長距離、長時間に渡って実現できることから注目されている。今回の会議では米国NIST（標準技術局）が発表した、比較的大きなジョセフソン接合（10 μm 角程度）とキャパシタンスを組み合わせた方法が注目された。発表者はこの方式により数マイクロ秒程度の量子力学的相互作用が実現出来ると見積もっている。これ以外にも1ビットの量子状態の観測と制御に関しては大きな進展が得られていた。また、多ビット化への取り組みも始まっており、今後の進展が期待できる。

環境分野

9

①衛星で収集された海水などのデータの評価分析が進展

東海大学情報技術センターの中山雅茂氏らのグループは、マイクロ波センサーの観測データから海水の厚さを分類する手法を新たに開発した。新手法によって評価された北極海の海水面積の減少率は、従来のアルゴリズムで求めた減少率よりも大きいことが明らかになった。5月にNASAによって打ち上げられた衛星AQUAで観測され始めた海水などに関するデータについて、8月に開催されたNASA・NASDA AMSR Joint meetingで初期評価の結果が報告されており、海水観測データの分析手法の進展は、今後の衛星観測データの評価分析に大きく貢献するものと期待されている。

ナノテク・材料分野

9

①地上で初めて卵型構造金属粉体の作製に成功

東北大学未来科学技術共同研究センターの石田清仁教授らの研究グループは、ゆで卵のように、外側と内側の組成が異なり、鉄と銅の2層から成る卵型構造金属粉体（同心球状金属粉体）の作製に、地上で初めて成功した。従来、液体状態で混じり合わない組み合わせの合金やセラミックス等の材料は固化する前に分離してしまうため作製できていなかった。今後は、様々な卵型粉体の作製により、従来無かった種類の新機能材料の開発が期待される。

②室温で動作するスピン・トランジスタの可能性が原理的に示された

独立行政法人産業技術総合研究所と科学技術振興事業団は、スピン偏極共鳴トンネル効果という現象が室温で発現する新しい磁気抵抗素子構造を開発した。この研究成果により、室温で動作するスピン・トランジスタの可能性が原理的に示された。半導体トランジスタを必要としない新型の不揮発性メモリや新規の不揮発性論理デバイスにつながるものと期待される。

エネルギー分野

10

①省エネ・環境性を追求した自動車用電源の42V化への動きが活発化

現在の自動車は14V電源システムを用いているが、車両の安全性や快適性、利便性の追求による車載電気システムが増加・複雑化してきたため、電源容量の限界値近傍での利用が強いられてきている。また、国内外で進む燃費向上と排ガス規制強化の動きから、省エネ・環境性に優れた車両の開発が自動車業界に求められている。こうした背景から、最近、自動車業界は、自動車用電源電圧を高電圧化（42V）することによって、省エネ・環境性に対応しようとする動きを活発化している。8月に行われた電気学会産業応用部門大会では、42V化に向けた最大の課題である低コスト化に向けて取り組んでいる、電子部品材料・周辺機器・制御機構などに関する開発状況、国際規格化（ISO等）の進展状況が報告された。

②エネルギーの外部性評価研究がスタート

エネルギーシステムは、市場経済性のみならず、環境・健康影響、エネルギーセキュリティ関連リスク等の外部性を考慮して評価することが重要であるが、わが国のエネルギー外部性評価研究は欧米に比べ大きく遅れている。日本原子力学会は「原子力エネルギーの外部性研究専門委員会」を設立し、社会のエネルギー選択や研究開発における適切な意思形成の支援を目的として、わが国独自のエネルギー外部性等の統合評価研究を開始した。本研究は、わが国のエネルギー・環境政策の形成に役立つばかりでなく、社会への説明責任の面からも極めて有益なものと期待される。

製造技術分野

11

①イオン性液体膜による有機化合物の分離の可能性が示された

沸点が近い有機化合物の混合物を分離する場合、コストの安い蒸留法では分離が難しい為にコストの高い方法の採用を余儀なくされており、より低コストな分離法の開発が望まれている。ポルトガルのリスボン新大学のC. A. M. Afonso教授らは、多孔性の高分子膜の細孔にイオン性液体を固定化したイオン性液体膜により、沸点の近い有機アミン混合物の分離の可能性を示した。

社会基盤分野

12

①東南海地震に関係したとみられる分岐断層の形状が明らかにされた

海洋科学技術センターの研究グループは、熊野灘沖の南海トラフにおける探査データを解析し、東南海地震に関係したと見られる深海底深部の分岐断層の形状を明らかにしたと発表した。この断層は南海トラフから50～55km陸側の、深さ10km付近のプレート境界から海底面へ向けて派生している。地震発生時には、沈み込むプレートの上面でのすべりに伴って、この分岐断層も活動し、それに沿うすべりが海底面まで伝播することによって巨大な津波が発生したとみられ、この分岐断層は沈み込むプレートとともに巨大地震の原因となっていると考えられる。

特集－1

バイオリソース（生物遺伝資源）の現状と将来

13

ライフサイエンス分野の研究にはバイオリソースが不可欠である。バイオリソースは、各種実験動植物、モデル動植物、胚や細胞、組織・器官など極めて多様であることから、その収集、保管、提供などは、国家的観点から取組を進める必要がある。現在、ライフサイエンスにおいて遺伝子の機能解析を対象とした研究が支配的となっており、ゲノム研究と連動した戦略的なリソースの整備も望まれている。

また、バイオリソースの円滑な利用を促すためには、バイオリソースの保存・提供機関（リソースセンター）の役割が重要であるとともに、円滑な材料移転を確保する契約等の仕組みの整備なども重要となる。

近年、リソースセンターの整備など関連施策の充実が図られたが、バイオリソースはその価値が変動することや、バイオリソースを担う人材の育成に関しては長期的な視点に立って施策を推進していく必要があることから、今後のフォローアップが重要である。具体的には以下の点に配慮して施策を推進していく必要がある。

- ①ライフサイエンスにおいては、どのような生命現象が研究の主たる対象になるかが時代とともに変遷していることから、バイオリソースは研究の流れとともに価値が変動する。従って、人為的に大量に作成する突然変異体等に対しては時限を区切った緊急的な支援施策を、自然が作った亜種、近縁種などのかけがえのないリソースに対しては、安価な保存技術を開発しつつ恒久的な収集・管理を推進するなど、短期・長期のバランスのとれた支援施策が必要である。
- ②生物種毎にバイオリソースの維持・増殖方法に個別性があることから、付加価値の高いバイオリソースの維持・管理には、専門家の養成が重要である。欧米のようなテクニシャンの昇進制度を充実させるためには、リソース整備に要する短期的な事業費のサポートでは適応できないので、人材確保面での中長期的な支援施策が必要となるであろう。
- ③将来的に多様な生物種において遺伝子の機能解析が進んでくることを想定すると、ゲ

ノム情報と個体レベルの形質に関する情報が密接にリンクしてくることから、ゲノム情報に付随したバイオリソースの情報は一層重要となる。したがって、塩基配列情報などのゲノム情報のデータベースにおいて、バイオリソースの情報に関する統制された記述方法の構築などを検討していく必要がある。

特集—2

グリッド技術の動向

— 20

—次世代インターネット利用の中核技術になるか—

グリッド技術とは、ネットワーク上の複数の高性能コンピュータを一つの仮想的なコンピュータと見なして利用する技術であり、大規模なコンピュータや高価で特殊な実験装置を共同利用する環境の構築が可能である。高エネルギー物理、宇宙科学など巨大科学やITとバイオ、ナノとの融合領域において、グリッドが研究の基盤として必須になってくると考えられる。また、計算資源を分散することによってピーク時の負荷分散、信頼性の向上が実現でき、グリッドのビジネス展開も検討され始めている。

グリッドのタイプとしては、(a)メタコンピューティング：ネットワーク上に分散された複数の高性能コンピュータにより大規模な計算を実行させる、(b)研究グリッド(仮想研究所)：研究コミュニティ内で計算資源、データ資源、実験装置を共有する、(c)データグリッド：ネットワーク上に分散された大規模なデータを共有する、(d)計算サービスグリッド：グリッド上の仮想コンピュータにより計算サービスを行う、(e)デスクトップグリッド：多数のパソコンの遊休時間の計算パワーをインターネットを介して収集し、スーパーコンピュータ並の計算を実現する、などがある。

これらの実現に向けて世界各国で大規模なグリッド構築プロジェクトが進められている。先進的な例として、米国のTera Gridプロジェクトや、欧州のEU Data Gridプロジェクトがある。グリッド応用分野は、高エネルギー物理、ゲノム、バイオ、たんぱく質構造解析、医療・保健、環境、気候、宇宙、化学・材料などに広がっている。

日本は、幸いにしてグリッド技術の研究蓄積があり、産業としてコンピュータメーカーを持っている。グリッドプロジェクトにより、大学、国立研究所、メーカーが協力して優れた技術を創出し、グリッド技術の標準化に貢献していくことが、次世代インターネット利用技術の中で日本の技術力を示すことになる。

特集—3

MEMS 研究の新展開

— 32

MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) とは、半導体デバイスの開発で蓄積されたシリコンウエハの加工技術を用いて作製された、可動部を含む微小機械システムを指す。その研究対象は、すでに機械部品にとどまらず、医療・バイオ関連技術やエネルギー蓄積技術など幅広い応用分野に発展している。MEMS技術で作製される製品は基本的に多品種少量生産の性格を持ち、ベンチャービジネスを含む産業活性を促す効果も期待できる。

MEMS先進国である欧米に加えて、近年、台湾やシンガポールなどのアジア各国においても国家支援のもとでMEMS技術を産業の新しい柱のひとつにしようという気運が高まっている。日本のお家芸といわれる部品産業の将来を脅かすMEMS技術にも力を入れはじめており、静観はできない状況にある。今後のMEMS研究開発は、これまで日本が得意としてきたマイクロマシンやセンサ技術に、マイクロエレクトロニクス、ナノサイエンス等の技術を集積化して、新しいシステムを創製する試みが必要である。そこには、どうやって (how) 作製するかよりも、何を (what) 作製するかを議論するシステム工学が必要であり、発想、設計、試作のすべてをクリヤーする総合的な設計力をもつ人材の育成が重要である。立ち上がりつつある日本の大学および民間ファウンドリ (受託生産) の機能が、産業界の活性化に有効に働くようになるためには、有機的な組織作りが求められる。

科学技術 トピックス

以下は科学技術専門家ネットワークにおける専門調査員の投稿（9月号は2002年8月3日より2002年9月6日まで）を中心に「科学技術トピックス」としてまとめたものです。センターにおいて、関連する複数の投稿をまとめ、また必要な情報を付加する等独自に編集するため、原則として投稿者の氏名は掲載いたしません。ただし、投稿をそのまま掲載する場合は、投稿者のご了解を得て、記名により掲載しています。

ライフサイエンス分野

①医学領域での トランスレーショナル ・リサーチとは？

我が国でも、医学領域でトランスレーショナル・リサーチという言葉がここ俄に喧伝されるようになり、各省による助成も始まっている。しかし、トランスレーショナル・リサーチが具体的に何を意味するかは極めて曖昧で、政策担当者を含む各自の主観的な判断に任されているようである。米国でもこの点については混乱があるようで、7月号のNature Medicine誌に“*What is translational research?*”という記事が掲載されている（Nature Medicine, 8: 647, 2002）。ここでは、この記事の内容を紹介し、今後の議論の一助としたい。

この記事は最近Howard Hughes財団が米国でトランスレーショナル・リサーチを遂行する人12人を選んでグラントを与えたということを契機に、同誌のsenior editorのKaren Birminghamが米国の事情を取材して書いたものである。記事は、これらが実際に基礎医学の研究成果を患者の治療に実際に応用するものであるのか、それとも、Howard Hughes財団がこれまで推進してきたと同様、す

ぐには治療に結びつかないヒトの病気に関する研究助成であるのかに疑問を呈したのち、何をもってトランスレーショナル・リサーチとするかを議論している。

記事では、Dana Farber癌センターのLee Nadler博士の「トランスレーショナル・リサーチとは基礎研究の成果を臨床の場に応用し、患者でその治療効果を検定することである」という言葉を引き、実際に臨床の場において具体的な治療目標を設定することとそれに対する達成度の検定ができることがトランスレーショナル・リサーチとして大事であると述べている。例として、Novartisが最近開発した慢性骨髄性白血病の特異的治療薬であるGleevecという薬について触れている。これは慢性骨髄性白血病に特徴的に見られるBCR-ABLという分子の阻害薬であるが、わずか3週間でFDAの認可をうけ、一躍有名になったものである。この記事では、この薬物はNovartisがサポートしたものの、開発から臨床応用まで全て研究者主導で行われたと述べており、このように明確な標的に対する薬物を開発して、その標的に対する阻害効果を臨床の場で評価したことこそトランスレーショナル・リサーチにふさわしいものだ

と述べている。実際に今回のHoward Hughes財団の助成受賞者にはこのGleevecの開発に関わった2人の研究者が含まれており、そのうちの1人の今回助成の対象となった研究も、また、がんのシグナル伝達に関わる蛋白質の一つを標的として開発した薬物の効果を臨床の場で確かめるというものであると、述べている。この記事は最後に、このような臨床の場での治療目標の設定には、基礎科学者、臨床医、統計専門家、リサーチ・ナース、データ管理者などのチームワークが必須であることを述べて、締めくくっている。

以上、この記事は基礎研究からでてきた化学物質を臨床の場で評価する研究こそトランスレーショナル・リサーチとしてふさわしいことを強調しており、その例として研究者主導による薬物の小規模臨床治験を挙げている。

私が今回この記事を取り上げたのには、いくつかの理由がある。1つ目の理由は、基礎科学予算と技術開発予算を意識的に区別して投資することが大事と考えるからである。残念ながら、我が国には、科学研究と技術開発を一緒にして、同じようなテーマに両方の名目で投資してきた歴史がある。これは、本来、個々人の自由な発想

に基づく基礎研究の進展によって、また、その成果を応用に移す技術開発にとっても悪い影響を与えてきた。トランスレーショナル・リサーチをその点を考え直す契機としたい。すなわち、今後は、トランスレーショナル・リサーチというからには、基礎科学に根ざすのは勿論であるが、申請時点で臨床での評価計画を含むようなもの、あるいは応用への道のりが明らかなものを優先すべきではないか？

2つ目の理由は、上記のように、米国では、研究者主導の薬物開発が公的に認知され有効に機能しているのに対し、我が国ではこの点についての認識が低いことである。薬物は巨額の投資によって開発され、製薬企業は最も有望と考えた疾患を対象に臨床治験を実施するが、これが必ずしも成功するとは限らない。有望とみられた多くの薬物が往々にして一度だけの大規模治験の結果で開発断念に追い込まれるが、その中には対象疾患の変更、対象集団の絞り込みによって大きな応用の可能性が存在するものも多い。(一例として最近 Science 誌は、matrix metallo-protease 阻害薬の開発を論じている：Science 295: 2387-2392, 2002。)すなわち、これは、その薬物の臨床効果についての治療目標の設定の失敗に起因する。

今回の記事にあるように、米国では、研究者主導による治療目標の設定がトランスレーショナル・

リサーチの大きな目的と考えられている。我が国においてもこのような研究を推進することは、研究者の発想を生かし、大学病院の目的である患者さんのための新しい医療の創造に寄与するとともに、我が国の製薬企業の競争力の育成にも役立つものと思われる。(京都大学大学院医学研究科 成宮 周氏)

②大阪大学に我が国初の糖鎖治療学寄付講座を開設

大阪大学大学院医学系研究科は、タカラバイオ株式会社(社長：加藤郁之進氏)の寄附を受けて、糖鎖治療学(タカラバイオ)寄付講座を設置した。設置期間は平成14年9月から平成17年8月の3年間で、客員教授には同社・元主任研究員の近藤昭宏博士が就任した。この講座の設置により、同社の細胞治療や遺伝子治療の関連技術と、糖鎖遺伝子^①を組み合わせた糖鎖不全^②に由来する疾患の治療に関する研究プロジェクトを、大阪大学大学院のいくつかのグループと共同して推進する。

近年のゲノム研究の飛躍的な進歩に伴い、ポストゲノム分野の研究に世界各国がしのぎを削っている中、糖鎖研究の分野が最も注目を集めるテーマの1つとなっており、糖鎖遺伝子を利用した創薬や治療が脚光を浴びている。米国内

立衛生研究所(National Institutes of Health)では5年間で約44億円の予算をかけて糖鎖研究のプロジェクトを始めている。わが国においても平成14年1月の総合科学技術会議の月例科学技術報告に「ポストゲノムでにわかに注目される糖鎖研究」と記載され、約300個あると予想されるヒト糖鎖関連遺伝子のうち、これまでに発見された約110個の遺伝子の50%は日本人の手によるものであることが明らかにされた。

本糖鎖治療学(タカラバイオ)講座では、以下の研究を推進する予定としている。

- 1) 複合糖質の糖鎖構造の解明
- 2) 糖鎖構造の改変による生理活性物質の機能高度化
- 3) 糖鎖遺伝子の機能解明
- 4) 糖鎖遺伝子—ウイルスベクター系の開発
- 5) 糖鎖遺伝子の発現制御による病気の治療への応用

この糖鎖治療学(タカラバイオ)講座の設置により、大阪大学の特に糖鎖工学分野における国際的優位性と同社独自の研究成果を有機的に統合し、糖鎖および糖鎖遺伝子を利用した病気に対する新たな診断・治療へのアプローチを行い、効果的に産学連携の共同研究を推進できると考えている。(大阪大学大学院医学系研究科 谷口 直之氏)

用語説明

①糖鎖遺伝子

糖を分解する酵素の遺伝子、特異的な糖鎖構造を認識し結合する蛋白質の総称であるレクチンの遺伝子や、糖タンパク質の糖鎖の合成に関与する糖転移酵素の遺伝子の総称。

②糖鎖不全

遺伝的な染色体の異常や、細胞の癌化等により、糖鎖構造が変化すること。例えば、N型糖鎖の欠損による生化学的な影響としては、糖タンパク質性ホルモンの機能喪失、各種受容体の細胞表面への発現不全、分泌性糖タンパク質の分泌不全などがある。

情報通信分野

①第15回国際真空マイクロエレクトロニクス会議報告

7月7日から11日まで、フランスのLyonで第15回国際真空マイクロエレクトロニクス会議が開催された。この会議は微小冷陰極^①（フィールドエミッタ）を用いたフラットパネルディスプレイ（FED^②：電界放出ディスプレイ）や新デバイスに関する国際会議である。特にFEDは、自発光型の平面ディスプレイとして、画質、応答速度、視野角、消費電力等でPDP、液晶、有機EL等の他のディスプレイを凌ぐ可能性があり、約35インチ以上のテレビ用ディスプレイの有力な候補の一つとして注目されている。一方で、性能と生産性・コストが両立する微小冷陰極製造技術が確立されていない点が実用化への最大の問題点である。現在、主に、金属やシリコンを突起状に加工する方法（スピント型）、金属やシリコンの微粒子を使用する方法、ダイヤモンドなどの炭素系薄膜を使用する方法、カーボンナノチューブを使用する方式の4種類が冷陰極製造技術として研究開発されている。

本会議では、まず基礎的な分野で、興味深い結果が報告された。その一つは、表面が負性電子親和力^③となるため、良好な陰極材料となると期待されてきたダイヤモンドについてである。undoped（不純物を注入していない）で結晶性の良いダイヤモンド自体からの電子放出はほとんど起こらないという発表が相次いだ。これまで絶縁体であるundopedのダイヤモンドから電子が良好に放出するという報告がかなりあり、その原因

用語説明

①冷陰極（フィールドエミッタ）

真空中で金属などに電圧をかけると、陰極から電子がトンネル効果によって放出される、電界放出と呼ばれる現象が起きる。陰極を加熱して電子を放出させる熱陰極（真空管などで使われる）に対して、電界放出を利用した電子源を冷陰極と呼ぶ。電界放出には、陰極が鋭くとがっているほど低電圧で起こるという特徴がある。高分解能電子顕微鏡の電子銃などに用いられている。

②FED（電界放出ディスプレイ）

微小冷陰極を用いた、自発光型平面ディスプレイの一種。各画素は、陰極、蛍光体を塗った陽極、電子を引き出すためのゲート電極で構成される。各陰極からの電子放出を制御し、電子を蛍光体にぶつけて発光させ、画像を表示する。原理的に、液晶に比べて応答速度と視野角で、PDPに比べて消費電力で優れているといわれる。また、PDPと同様に単純マトリックスで制御可能な点が面積化に向いている。

③負性電子親和力

電子の伝導帯（電子が走行できるエネルギー帯）のエネルギー準位が真空のエネルギー準位より高いこと。この場合、伝導帯に電子が注入されれば、ほとんどエネルギーを与えなくても電子が真空中に放出されるので、冷陰極材料として都合がいい。多くの金属やシリコンでは伝導帯のエネルギー準位は真空より低い。

はダイヤモンドの負性親和力にあると言われていた。しかし、今回の発表で電子放出が起こっていたのは、多結晶ダイヤモンドに含まれるグラファイト層などの導電層が原因であるというコンセンサスが得られたと見て良いだろう。一方、ドーピングを行ったダイヤモンドが示す良好な電子放出特性の放出機構は未だ不明である。今後、この電子放出機構の解明に向けての研究が期待される。

スピント型に比べ、低い放電電圧と低コスト化を実現できる可能性があることから、カーボンナノチューブを用いた電子源の研究は活発で、膜の配向制御、ゲート構造の製作、エミッションサイトの制御等、数多くの発表があった。この中では、1本のカーボンナノチューブからマイクロアンペア以上の放出電流を取ると、カーボンナノチューブが発熱し、熱電子も放出されるという発表が電子放出機構を考える上で興味深い。

FEDに関しては、飛躍的な進

歩は見られなかったが、ソニーはスピント型電子源を用いたFED（高電圧型、アノード電圧6kV）の緑と赤の蛍光体の劣化機構とその対策についてについて発表した。これで、FEDの蛍光体の寿命の問題はほぼ解決したと考えられる。

また、Samsungは、スクリーン印刷でナノチューブ陰極を形成し、陰極の下にゲート電極を配置したものを報告している。陰極の周囲にゲート電極を配置するノーマルなタイプに比べて、面積化が容易で製造コストを抑えることができる可能性がある。

この技術も含めて、カーボンナノチューブ陰極を用いたランプやディスプレイのデモがあったが、カーボンナノチューブを用いたFEDは、スピント型冷陰極を用いたFEDに比べると、放出電子の均一性が悪く、これが画質を劣化させている。今後画質を向上させる工夫が必要であると感じた。

FEDが将来の面積ホームテ

レビジョン用ディスプレイの最も有力な候補の一つであるということは、かなり認識されている。しかし、FEDの利点を生かせる高画質なかつ大面積ディスプレイを実現する陰極製造技術がまだない。今後、政策的に、陰極製造技術を開発するプロジェクトを推進すべきだと思う。その際、ディスプレイおよびカーソド研究者が主体となり、材料研究者と密接に連携して研究できる組織ができれば、FEDの利点を最大に生かせる陰極の開発は可能になると考えている。(東北大学 三村 秀典氏の投稿より)

②超伝導を用いた量子コンピュータ素子の開発

米国で開催された超伝導応用会議(8月5日～8月9日:ヒューストン)において、超伝導を用いた量子コンピュータ素子の開発に関する発表がなされた。近年注目されている量子コンピュータ^④を実現するための素子を、超伝導状態で出現する量子化現象(磁束の量子化、及びエネルギーの量子化)を用いて実現しようとする研究であり、米国及び欧州を中心に積極的になされている。

超電導量子コンピュータを構成

する素子である超伝導量子ビットの実現には、微小ジョセフソン接合^⑤を用いる方法とSQUID^⑥を用いる方法がある。前者は電荷量子ビットと呼ばれ、後者は磁束量子ビットと呼ばれる。超伝導を用いた場合には数十 μm 程度の長距離にわたって、量子力学的相互作用(コヒーレンス)を実現することが出来る。このいわゆる巨視的量子効果は他の量子素子にはない超伝導の大きな利点であり、多くの素子を組み合わせる量子コンピュータを実現する際の配線の問題の解決を可能にする。

一方超伝導量子ビットでは(他の量子ビットでも同じだが)、取り扱うエネルギーが小さいため、熱雑音による量子ビット間のコヒーレンスの揺らぎ(デコヒーレンス)をいかに小さくし、計算が終了するまでの時間(数マイクロ秒程度)、コヒーレンスを保つかが重要な課題となっている。この問題を解決するため種々の方法が提案されている。今回の会議では米国NISTのJ. M. Martinisが発表した、比較的大きなジョセフソン接合(10 μm 角程度)とキャパシタンスを組み合わせた方法が注目された。発表者はこの方式により数マイクロ秒程度のコヒーレンス時間が実現出来ると見積もっている。

超伝導量子ビットの実現方法については、種々の方式が提案されており、まだ本命が決定しているわけではない。コヒーレンスを長時間保ち、多ビットへの展開が容易な方法を研究している段階である。現在は1ビットの量子状態の観測と制御に重点がおかれており、この点に関しては大きな進展が得られていた。また、前記のNISTのように、2ビット状態を実現する試みや、多ビット化への取り組みも始まっており、今後の進展が期待できる。

国内では中村 泰信(NEC基礎研)、蔡 兆申(CREST-JST/現在はNEC)等が、数年前に世界で初めて微小ジョセフソン接合を用いた量子ビット(電荷量子ビット)の実現と量子状態の制御に成功している。この研究は理研とNECで継続されており、世界的にも注目されている。また、磁束量子ビットに関しては国内ではNTT基礎研(高柳 英明等)が既に量子状態の観測に成功している。しかし、超伝導量子ビットの研究は開始されてまだ数年しか経っておらず、まだ数年は基礎的な研究が中心になると考えられるため、長期的なサポートが必要であろう。(九州大学 円福 敬二氏)

用語説明

④量子コンピュータ

現在のコンピュータと異なり各ビットが量子力学に基づいて動作するコンピュータ。スーパーコンピュータで数億年かかるようなある種の問題(大きな数の素因数分解等)を数秒で計算できる可能性があり、注目されている。

⑤ジョセフソン接合

2つの超伝導体の間に数nmの絶縁体や金属の層をはさんだもの。接合に流す電流がある量を超えると接合部で超伝導状態が破れ電圧が発生する。この特性を使って超高速・超低消費電力のスイッチング素子を構成できる。また、SQUIDなどの超電導素子の構成要素として重要。

⑥SQUID(超電導量子干渉素子)

1つあるいは2つのジョセフソン接合を超電導ループに設けた磁気デバイス。このループに加えられる最大超電導電流値は、ループの中に閉じこめられた磁束により変化する。非常に微弱な磁気に応答する特性を使い、超高感度磁気センサとして用いられる。

環境分野

①衛星で収集された海水などのデータの評価分析が進展

東海大学情報技術センターの中山雅茂氏らのグループは、マイクロ波センサーの観測データから海水の厚さを分類する手法を新たに開発し、日本リモートセンシング学会誌で発表した。海洋-海水-大気間での熱収支を考えたとき、薄氷（厚さ40cmまで）は厚氷（厚さ40cm以上）の10倍以上の熱輸送量をもつため、気候モデルの精度を上げるには薄氷域の検出が重要である。今回開発された手法では、厚さ40cm以下の薄氷とそれ以上の厚氷を自動的に分類することが出来る上に、薄氷の厚さの海水分布も検知できる。このため、温暖化と海水分布の変動の関連性を調査する場合、海水と海面の割合を区別する従来のアルゴリズムにくらべて一段と進歩した

手法となる。今回開発された手法を北極海に適用し、1987年から2001年までの薄氷域と厚氷域の経年変化を調べたところ、薄氷域は一年に3.7万平方キロメートルの増加、厚氷域は一年に4.7万平方キロメートルの減少があると評価された。この見積もりは従来のアルゴリズムで求めた北極海の海水面積の減少率に比べて大きい。北極海での海水分布面積の減少はアルベド^①効果の低下をもたらし、温暖化をさらに加速させる。現在の温暖化予測は今世紀末に北極海から海水が完全に姿を消す可能性を指摘しているが、今回の評価はいつ北極海から海水が消滅するかの予測に影響を与えるものである。

また、NASAが5月4日にカリフォルニアのバンデンバーグ空軍

基地から打ち上げた衛星AQUAにはマイクロ波センサー（AMSR-E）が搭載されており、8月8日に開催されたNASA・NASDA AMSR Joint meetingにおいて、AMSR-Eによる初期観測結果が報告された。今後の本格的な解析作業により、今までの衛星マイクロ波センサーにはなかった6GHz帯での観測を含め、85GHzまでの6周波数帯での観測データから、海面上での水蒸気量および雲水量、海面温度、海上風速、土壌水分量、海水密接度と海水表面温度、積雪水量が数日ごとに地球規模で把握できると期待されている。このうちの海水観測データの評価分析について、今回開発された海水の厚さを分類する手法が大きく貢献するものと期待されている。

用語説明

①アルベド

一般には入射光の強さに対する反射光の強さの比を指す。この場合、地表面が反射した太陽エネルギーの割合。

ナノテク・材料分野

①地上で初めて卵型構造金属粉体の作製に成功

東北大学未来科学技術共同研究センターの石田清仁教授、大学院工学研究科の貝沼亮介助教授、王翠萍博士らのグループは、地上で初めて、卵の黄身と白身のように内側と外側の組成が異なる2層あるいは3層から成る卵型構造金属粉末（同心球状金属粉体）を作製する事に成功した。（Science, vol. 297, pp.990-993 (9 AUGUST 2002)に掲載）

これは水と油の様に液体でお互

いに混じり合わない系に適用できるもので、例えば液体状態で分離傾向を示す鉄-銅合金の場合、滴下中に高圧ガスを噴射し霧状にするという手法を用い、極めて高速で冷却（1000～10000℃/秒の温度低下に相当）すると、数10から数100ミクロンの大きさで卵型粉体が形成されることがわかった。これまで、このような構造は無重力状態の宇宙実験で得られていたが、地上の重力下でも形成される事を初めて実証するとともにそのメカニズムを解明した。

この卵型構造が出現するのは、分離する二つの液体（例えば鉄と

銅）との間の表面張力が温度によって大きく変化する場合であり、この点が卵型構造出現の原因である。すなわち粉体粒子が冷却する時に内部と表面との間に温度差が生じるが、そのために表面付近と内部とで液体の表面張力の大きさに差ができ、その力によって高温の中心方向へと液体の一方のみが流動し卵型構造に相分離するためである。これはマランゴニ効果と呼ばれる液体の相分離現象と基本的に同一である。今回実験を行った鉄と銅の液体状態でこのマランゴニ効果を計算すると100ミクロンの間に100℃の温度差があれ

ば、直径10ミクロンの液滴はたった0.002秒でその距離を移動出来る事が分かった。

このような卵型構造は金属だけでなく、セラミックスや高分子等其他の材料でも十分生成され得るので、従来無かった種類の新機能材料の開発が期待される。

②室温で動作するスピン・トランジスタの可能性が原理的に示された

電源を落としても情報が消えない不揮発性メモリの一つとして、磁気抵抗効果を用いるMRAM (Magnetic Random Access Memory) デバイスが提案されている。これまで提案されているMRAMの動作原理は、微小な強磁性体セルに情報を記録して、半導体素子で読み出す機構であるため、シリコンのLSI上に磁気抵抗素子(TMR素子)を作製する必要がある。したがって、原理的にTMR素子よりも大きい半導体トランジスタに集積度が限定されてしまうこと、不純物を嫌う半導体デバイ

ス製造プロセスで強磁性体材料を用いなければならないこと、などの根本的な問題を回避できない。これに対し、仮に、情報記録機能と読み出し機能を併せ持つ素子(スピン・トランジスタ)を形成できれば、半導体トランジスタを必要としない新型の不揮発性メモリや新規の不揮発性論理デバイスが可能になる。

このたび、独立行政法人産業技術総合研究所の鈴木義茂氏らの研究グループは、スピン偏極共鳴トンネル効果という現象が室温で発現する新しい磁気抵抗素子構造を開発した。スピン偏極共鳴トンネル効果とは、TMR素子の電極の中に、幾つかの離散的なエネルギーを持つ電子スピン状態を生成させると磁気抵抗が大きな変化を起こすという現象である。半導体では類似の効果が実証されているため、強磁性金属においてもナノスケールの薄膜中に電子スピンを閉じ込めることによって、半導体トランジスタのような動作ができるだろうと期待されていたが、これまで室温はもちろんのこと極低温

条件においても、この効果を発現するTMR素子を作ることができなかった。鈴木氏らのグループは、非磁性金属である銅と強磁性金属であるコバルトの単結晶ナノ積層構造上に、トンネル障壁である酸化アルミニウムと強磁性電極のパーマロイ合金を積層した構造を形成し、スピン偏極共鳴トンネル効果を室温で発現させることに成功した (Science, vol. 297, pp.234-237 (12 JULY 2002) に掲載)。研究のポイントは、極めて良質な単結晶ナノ構造の電極を作製する技術により、電子スピンの散乱を画期的に減らすことに成功した点である。

今回の研究成果により、室温で動作するスピン・トランジスタの可能性が原理的に示された。この研究をさらに発展させて三端子素子の構造を作製できれば、情報記録機能と読み出し機能を併せ持つスピン・トランジスタが実現できると考えられる。なお、この研究は、産業技術総合研究所と科学技術振興事業団の共同研究契約に基づく、戦略的創造研究推進事業の一貫として行なわれている。

エネルギー分野

①省エネ・環境性を追求した自動車用電源の42V化への動きが活発化

近年の自動車は、車両の安全性や快適性、利便性の追求による車載電気システムが増加・複雑化しており、現状の14V*電源システムのままでは電源容量の限界が見え始めている。我が国のエネルギー消費の25%は、運輸部門が占めており、その中でも自動車の占める割合は85%と、省エネに向け、燃費に優れた車両の開発が自動車業界の最重要課題となっている。また、日本では、2005年に自動

車排ガス規制をガソリン車、ディーゼル車ともに強化し、ディーゼル車の燃費規制も開始するほか、2010年導入予定のガソリン車の燃費規制についても、早期達成が求められている。欧州についても同様に、2005年導入予定のEURO4、またEURO4以降もさらなる強化規制が導入される計画がある。これらの解決策の一つとして、最近、自動車業界では自動車の電源電圧を42V*化する動きを活発化している。

今年8月開かれた電気学会産業応用部門大会では、「自動車電源の42V化に関する諸問題」と題するシンポジウムが催された。シン

ポジウムでは、全世界の規格設定母体から示された人体安全制約を考慮して電源電圧が直流42Vに決定されたこと、電源電圧の高電圧化によって、始動機・発電機が一体となったモータジェネレータ、電磁駆動弁、電動ブレーキといった燃費向上につながる機器の導入が可能となることなどが報告された。こうした電動化の進んだ自動車は、機器構成の簡素化・軽量化が可能となること、減速時のエネルギーをバッテリーに蓄えるエネルギー回生機能を容易に付加できることなどの理由から、大幅な燃費向上とともに排ガスの抑制による環境負荷の低減が期待される。こ

うした期待を表すように、42V化に必要な関連機器の材料開発から制御機構など多岐にわたる報告がなされ、さらに国際的規格化(ISO等)を進めている状況も示された。また、参加する自動車メーカーからは、今後の戦略に関して活発な議論が交わされ、42V化したバッテリーと燃料電池とのハイブリッド化等、今後42V化を推進することで、さらなる環境負荷低減自動車を世に送り出すという各社の姿勢が打ち出された。

42V化の最大の課題は、現在のところ低コスト化であり、電力変換素子等を始めとした材料開発や、多くの関連技術(機器、制御技術等)の技術進展が不可欠である。国内のメーカで一部実用化がされているものの、今後、世界的にも環境規制が一層厳しさを増していく中で、省エネ、ひいては環境負荷低減が期待される自動車用電源42V化技術の着実な進展が望まれる。

注(※) 14V (42V) は、車両電気システム動作中の回路電圧公称値であり、使用バッテリーは12V (36V) である。

②エネルギーの外部性評価研究がスタート

エネルギーシステムは、市場的

な意味での経済性のみならず、外部性、すなわち気候変動や大気汚染等などの環境・健康影響、エネルギーセキュリティ、社会的受容性等も含め、社会が負う様々な損失や受ける便益面から総合的に評価することが重要である。欧米では、1980年代末からこのような外部性評価研究が重視されてきたが、わが国での取り組みは大きく立ち遅れている。

このような状況の下、日本原子力学会は「原子力エネルギーの外部性研究専門委員会」を設立した。本委員会は、約50名の産官学の研究者からなり、社会のエネルギー選択や研究開発評価における適切な意思形成支援のための、わが国独自のエネルギー外部性等の統合評価に向けた新たな概念枠組みを構築することを目標としている。原子力の研究者を多く擁する原子力学会の取り組みとして、高速炉サイクルや核融合など未来型のエネルギーも対象に含め、エネルギー安全保障や研究開発プロジェクトの評価も視野に入れた取り組みを展開していく。

7月19日に開催された第1回会合では、主査の伊東慶四郎氏(政策科学研究所)から欧州委員会のExternEプロジェクトにおける環境外部性評価の方法論、エネルギー安全保障や研究開発評価の枠組みに関する基調講演が行われ、特に広域大気汚染による健康影響等

を解析するシステムモデル開発の重要性が指摘された。また、産業技術総合研究所の岸本充生氏は、大気汚染の健康影響の定量評価及び金銭評価の現状と課題に関する調査報告を行った。さらに、原子力安全委員会の松原純子氏は、地球環境問題など複雑で不確定性の大きい問題の拡大に伴い、従来の分化した応用科学や技術的専門性の限界を踏まえ、今後はむしろ関係者との対話の中で、問題解決型の俯瞰的で流動的なリスク管理を指向するポスト・ノーマル・サイエンスという考え方の重要性を提起した。

エネルギーシステムの外部性は環境と社会に対する正負両面の効果を含み、地域や社会によっても大きく異なるため、我が国独自の評価が望まれる。今日、わが国のエネルギー問題は、市場原理と環境保全との調和、エネルギー特別会計のグリーン化、研究開発の評価と国際協力、参加型政策形成の支援といった様々な観点から論じられている。このような状況において、エネルギー外部性の統合的な評価概念枠組みの形成や評価システムの研究開発、その適切な社会的意思形成への適用は、わが国のエネルギー・環境政策の形成に役立つばかりでなく、社会への説明責任を果たす上でも不可欠なものと考えられる。

製造技術分野

①イオン性液体膜による有機化合物の分離の可能性が示された

有機化合物の混合物から目的とする化合物を分離するには、通常沸点差を利用した蒸留法により行われる。沸点が近い有機化合物の

混合物の場合は蒸留分離が難しく、融点の差を利用した深冷分離法、吸着力の差を利用した吸着分離法等が採用されるが、これらは何れもコストが高いなどの問題があり、より低コストな分離法の開発が望まれている。

ポルトガルのリスボン新大学のC. A. M. Afonso教授らは、多孔性

の高分子膜の細孔にイオン性液体を固定化したイオン性液体膜により、沸点の近い有機アミン混合物の分離の可能性が示されたと発表した。(Angew. Chem. Int. Ed., 41, 2771 (2002))

イオン性液体は、最近になって見出された常温で液体の有機塩で、沸点が非常に高く、また種類

により親水性或いは疎水性を示すなどの特徴を有し、反応溶媒等への利用が期待されている。同教授らは、親水性のイオン性液体である1-ブチル-3-メチルイミダゾリウムヘキサフルオロフォスフェートを多孔性高分子（ポリフッ化ビニリデン）膜の細孔に固定して親水性のイオン性液体膜を調製した。この膜で仕切られた容器の

一方にジイソプロピルアミン（DIPA、沸点84℃）とトリエチルアミン（TEA、沸点89℃）の等モル混合物を、他方にジエチルエーテルを入れ、イオン性液体膜を通してジエチルエーテル側に出てくるアミンの組成を調べたところ、DIPA80%、TEA20%という値を示し、本イオン性液体膜が分離性能を示すことが分かった。ま

た、この分離性能は14日間の連続運転でも変化が無かったとのことである。同教授らはDIPAの方がTEAより上記イオン性液体に対し親和性が高い為としている。

本研究は未だ初期の段階であり、工業化の為には分離性能の向上など更に検討すべき課題が多いが、低コストの分離法となる可能性があり、今後の展開に期待したい。

社会基盤分野

① 東南海地震に関係したとみられる分岐断層の形状が明らかにされた

東南海地震・南海地震は今世紀前半に発生する可能性が高く、近時、中央防災会議においても専門調査会が設置されるなど、監視のための体制が強化されている。このほど、この東南海地震に関するプレート境界面から分岐している断層の構造を、海洋科学技術センター 固体地球統合フロンティア研究システムの金田義行らのグループが明らかにしたと Science（8月16日 vol.297, pp.1157-1160）に発表した。

これは、2001年に行なった熊野灘沖の南海トラフにおけるマルチチャンネル反射法探査のデータの

解析により、1944年に発生した東南海地震に関係したと見られる深海底深部の分岐断層の形状を明らかにしたものである。

この分岐断層は南海トラフから50～55km陸側に位置する地点で、深海底より深さ10km付近のプレート境界から海底面に向けて派生している。その断層は陸側へ傾斜している逆断層で、その傾斜は断層が深部から海底面に近づくにつれ急傾斜になっている。また、断層の陸側には外縁隆起帯が形成されており、反射波解析から前弧盆の南海トラフ側では堆積物が陸側に向けて傾斜していることから、外縁隆起帯は継続的に隆起したと考えられる。これは、分岐断層の活動により上盤側が持ち上げられることにより、外縁隆起帯が形成されたことを示している。

また、反射波形の解析結果からは断層に沿って流体圧の上昇が認められるが、この断層が海底面に現れる付近では、潜航調査により冷水水の存在を示す生物コロニーが発見されており、これらのことから断層に沿う流体の存在が考えられる。このような流体の存在により鉱物の形成が促進され、断層の固着とすべりというサイクルが生じた可能性がある。

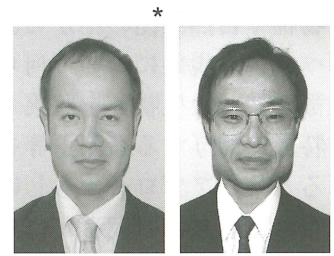
地震発生時には、沈み込むプレートの上面でのすべりに伴って、プレート境界から派生する分岐断層も活動した。そして、分岐断層に沿うすべりが海底面まで伝播することによって、巨大な津波が発生したと見られ、分岐断層は沈み込むプレートとともに巨大地震発生のメカニズム上、大きな役割を果たしていると考えられる。

.....

特集①

バイオリソース（生物遺伝資源）の
現状と将来

ライフサイエンス・医療ユニット 長谷川明宏*、茂木 伸一



1. はじめに

ライフサイエンス分野においては、しばしば「リソースなくしては研究なし。」といわれるように、バイオリソースは欠くことはできない。こうしたバイオリソースの範囲は、各種実験動植物、モデル動植物、胚や細胞、組織・器官など極めて多様であることから、その収集、保管、提供などは、国家的観点から取組を進める必要がある。

バイオリソースについては古くから博物学的な視点から収集・保存されてきた色彩が強かったが、近年、ライフサイエンス分野の研究については遺伝子の機能解析を対象とした研究が支配的となって

きており、多様な生物種においてリソースの蓄積とともにゲノム・シーケンスが明らかにされてきている。ゲノム・シーケンスが明らかとなった生物種においては、遺伝子の機能解析が大幅に効率化することから、ゲノム研究と連動した戦略的なリソースの整備も望まれている。

これまで、わが国におけるバイオリソースは、大学等の個々の研究室に散在するという特徴を持っており、その所在情報についても公開が遅れていたため、研究コミュニティにおいてバイオリソースの円滑な利用が図られにくい状

況にあった。こうしたバイオリソースの円滑な利用をうながすためには、バイオリソースの保存・提供機関（リソースセンター）の役割が重要であるとともに、円滑な材料移転を確保する契約等の仕組みの整備なども重要となっている。

本稿では、ライフサイエンス分野におけるバイオリソースの現状について概観し、ゲノム研究に対応したバイオリソースの整備のあり方、質の高いバイオリソースの提供のためのリソースセンター等に対する政策面での支援方策について述べる。

2. バイオリソースとは

2-1

バイオリソースの範囲

科学技術政策において、公的機関が「バイオリソース」の語彙を明確に定義した前例はこれまでにないが、ライフサイエンス分野においては、バイオリソースは、「研究開発のための材料として用

いられる生物系統、集団、組織、細胞、DNA など」の研究材料を指すものとして一般的に認識されている。一方で、基礎研究の段階を経て、例えば食用・飼料用などに用いられる植物種（品種）や、環境浄化に用いられる微生物種については、応用材料としてのバイオリソースであるほか、医療分野において用いられる細胞・組織等

のヒト関連の材料についてもバイオリソースに含まれるものである（図表1）。

2-2

バイオリソースの生まれ方

近年、ライフサイエンス分野の研究については遺伝子の機能解析を対象とした研究が支配的となってきており、ゲノムを対象として行われる研究の過程において、各種の突然変異体及びトランスジェニック生物（遺伝子を人為的に操作した生物）が数多く産出されている。

また、遺伝子の機能解析を中心

図表1 バイオリソースの範囲

研究材料	研究開発のための材料として用いられる生物系統、集団、組織、細胞、DNA など
応用材料	食用・飼料品種、家畜、環境浄化等に用いられる生物
ヒト材料	ヒト関連の細胞・組織等の材料

（国立遺伝学研究所 小原雄治教授作成資料より）

とする生命現象の解明においては、過去に研究者が作り出した生物種や自然集団の中から、解明すべき生命現象について何らかの特徴を持った生物種を収集し、その特徴に関与する遺伝子等を探索するというアプローチもしばしばとられ、過去に研究者が作り出した生物種や自然集団は、貴重なバイオリソースとして各研究者やリソースセンター等に保存されている。

なお、研究者が研究の過程において産出した突然変異体やトランスジェニック生物は、その研究結果に関する論文発表後、他の研究者による研究に供されて、研究コミュニティ内における共通の研究材料とすることによって、研究結果の再現性の確保や研究結果の比較が可能となる。したがって、研究の過程において産出したバイオリソースについては、論文発表後において保存・分譲することが論文発表者の義務となるという考え方が一般的に定着している。

2 - 3

バイオリソースセンター

バイオリソースの収集・管理を、大学等の個々の研究室に委ねた場合、

- 一定のサイズ・期間を超すと研究者に多大な負担がかかる
- 研究者等の異動に伴いリソースが紛失する、品質が低下する
- 所在情報が外部から把握しにくいいため、貴重なバイオリソースを研究コミュニティ内で有効に活用できない

などの課題が生じてくる。このため、生物種や研究分野毎にバイオリソースを収集・管理・供給する機能を持ったバイオリソースセンターを設け、バイオリソースを研究コミュニティに対し一元的

図表2 研究者から見たバイオリソースの分類

区 分	種 類
研究の過程で産出	<ul style="list-style-type: none"> ● 変異体 ● トランスジェニック生物
研究を進めるために収集	<ul style="list-style-type: none"> ● 過去に研究者が作り出したもの (大腸菌、線虫、ショウジョウバエ、マウスなど)

(国立遺伝学研究所 小原雄治教授作成資料より)

に供給することが必要となる。

バイオリソースセンターにおいては、動物・微生物などの生きた生物を大量に維持・管理することから多くの労力・コストが不可欠となることに加え、例えばマウスを分譲する場合を例に挙げて見ても、遺伝的にあるいは病理学的に高品質なリソースを供給するためには、定期的な遺伝的検査、微生物検査が不可欠であることのほか、凍結胚・精子の管理や体外受精などの繁殖技術も必要不可欠となることから、そのスタッフには高度な専門技術が求められる(図表3)。なお、このような技術は、取り扱うバイオリソースの生物種や個体・細胞・DNAなどのレベル毎に、それぞれ独自性を持つことから、バイオリソースの種類毎に専門スタッフを確保することが

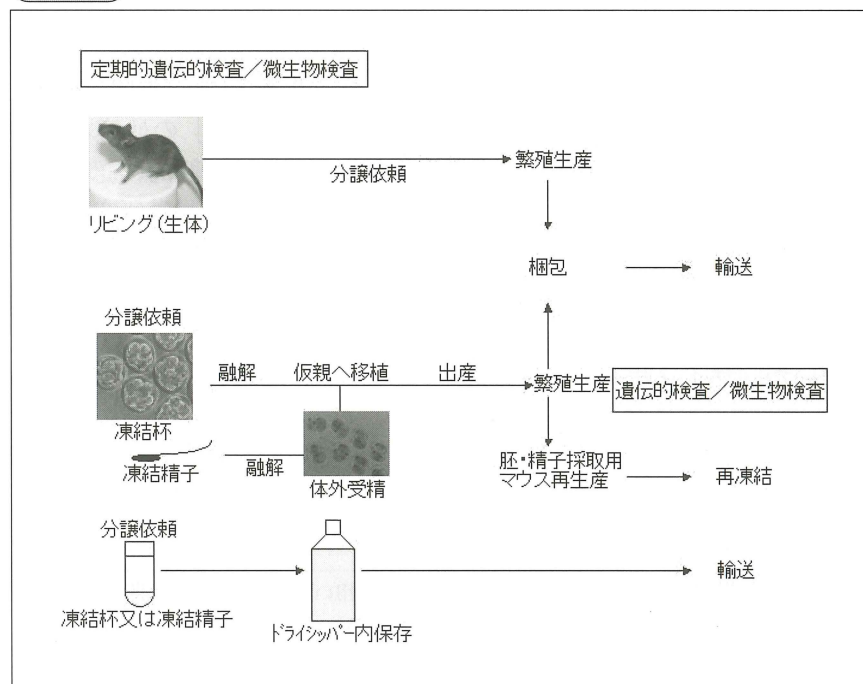
必要である。

さらに、バイオリソースセンターにおいては、高品質なバイオリソースの供給の業務にとどまらず、

- 遺伝地図作成・遺伝子名の付与など研究結果の整理
- リソースの遺伝的背景から、リソースを用いた研究結果に至るまでの、すべてのデータを集約することによる総合的視点からの研究の支援

などを、研究コミュニティとの密接な関わりのもとで、権威ある研究者が中心となって行うことにより、研究コミュニティをけん引していく役割も期待されている。これは、バイオリソースセンターが単なる研究支援機関というものではなく、学問分野の中心と

図表3 マウス系統の分譲の工程



(理化学研究所バイオリソースセンター作成資料より)

しての側面を持つことを意味している。

2-4

バイオリソースと知的財産権

近年、ゲノム研究などの基礎研究の成果が産業応用に直接的に結びつくケースが増加しており、バイオリソースについても、知的所有権を積極的に取得することや、バイオリソースの移転契約

（MTA: Material Transfer Agreement）において分譲相手に対し一定の制限（例：直接的な営利活動への利用の禁止、第三者への分与の禁止など）を設けることなどの取組が行われるようになってきている。また、研究者の間でも、特にリソースの開発者側の視点から、既存の特許法に基づく知的財産権の範囲を超えて、リソースそのものに対して新たな手法による知的財産権の保護を求める声も出

てきている。

一方で、リソース開発者に付与する知的財産権の強化については、リソースの価格の高騰や、研究コミュニティのリソースへの円滑なアクセスに支障をきたす恐れもあり、「バイオリソースに関して必要以上に知的財産権を主張することはライフサイエンスにおける新たな発見の機会を奪う」と警鐘を鳴らす研究者も多い。

3. ゲノム時代のバイオリソースの重要性

生物の遺伝情報の総体であるゲノムの塩基配列が、病原菌や産業上有用なバクテリア、詳細な遺伝学的研究が行われていた酵母などの微生物において決定され、また、多細胞生物である線虫やショウジョウバエのゲノム配列もこれらに次いで決定され、哺乳動物のマウスさらにヒトについても概ねの配列（ドラフト配列）が決定されて

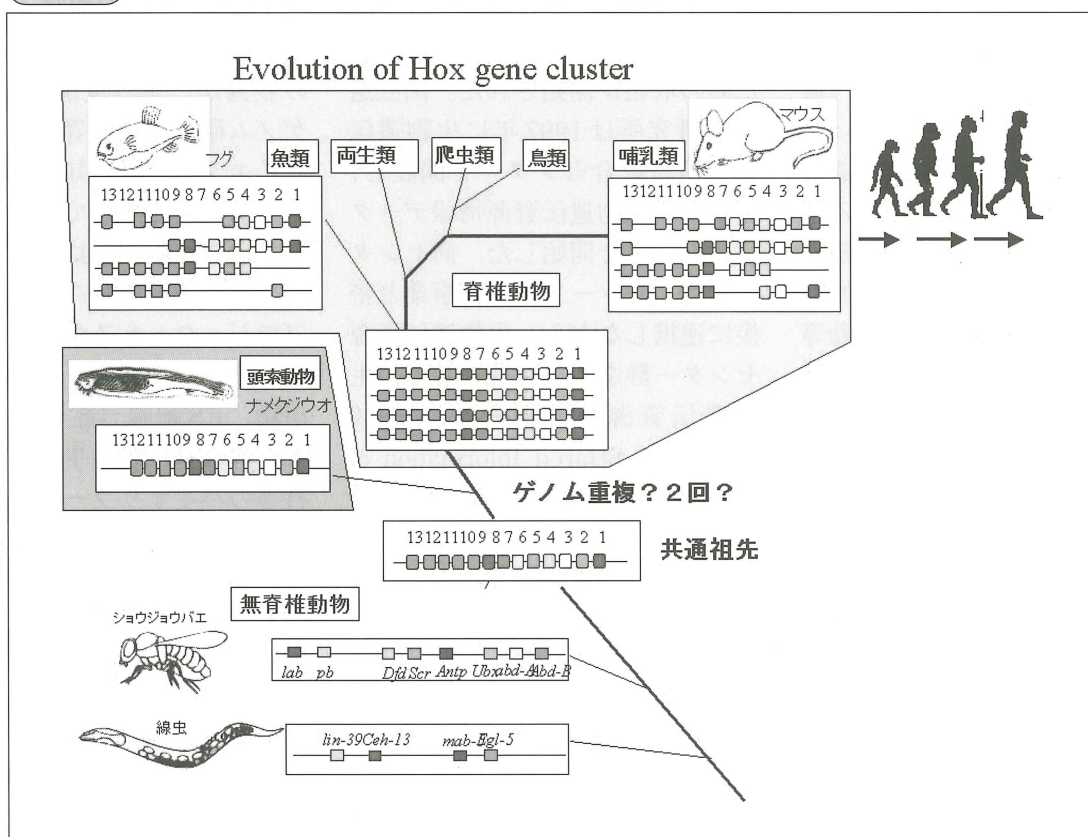
いる。

近年では、多様な生物の比較ゲノム解析によって、生物の進化の過程をゲノムの進化として捉えることが可能となった。例えば、形態形成を制御するHoxという遺伝子群について、様々な生物種間でその構成をみた場合、ちょうど無脊椎動物から脊椎動物に進化する過程でゲノムが2回重複して4倍

になっているということが明らかとなってきた（図表4）。Hox遺伝子の基本構造は魚と哺乳類で類似しており、遺伝子の組成としては、脊椎動物になってから特に大きな変化がないことも明らかとなった。

さまざまな生物種のゲノムの全塩基配列が手に入ると、特定の遺伝子配列の比較だけでなく、ゲノム配列総体の比較に基づいて、生

図表4 生物の進化とHox遺伝子



（国立遺伝学研究所 小原雄治教授作成資料より）

物の多様性を分子レベルで解明することも可能となる。加えて、ある生物種で機能が明らかとされた遺伝子のホモログ（構造が良く似た遺伝子）が、多様な生物種において存在することから、ゲノムの塩基配列が明らかとなった生物種間での比較ゲノム解析により、遺

伝子の機能解析が大幅に効率化される。すなわち、動植物また微生物でさえもヒトの遺伝子の機能を知る上でのモデル生物としての役割をも担っているということである。

したがって、ゲノム時代においては、実験系の確立したモデル生物において、ゲノムの塩基配列と

連動して遺伝子変異体などのバイオリソースを整備し、モデル生物によって各種の生命現象を解明することが、医療や諸産業における技術開発においても必要不可欠であり、バイオリソースの重要性は一層大きなものとなってきている。

4. バイオリソースの整備状況と関連施策

4 - 1

国内のバイオリソース整備の経緯

我が国においては、質量ともに膨大な生物資源とその情報は、一部を除いて、大学や専門機関がそれぞれ独自の観点から収集し、内部的に利用するとともに、部分的に公開している状況に止まってきた。

バイオリソースの整備や関連した情報基盤の整備はライフサイエンスの重要な研究基盤であり、こうした問題意識は研究者や行政部局の間でも認識されていたことから、科学技術基本法に基づいて1996年7月に閣議決定された科学技術基本計画の方針において「研究開発基盤の整備」が掲げられ、具体的には「研究開発施設・設備の整備」と「研究開発に関する情報化の促進」に並んで「知的基盤の整備」が挙げられた。「知的基盤の整備」では「研究開発活動等の安定的、効率的な推進を図る上で、標準、試験評価方法、生物遺伝資源、遺伝子資源、材料等を整備、収集、保存、蓄積することが重要である。また、上記標準、材料等が広く供給されることで国として広範な普及が図られることが重要である」と明確に打ち出された。

また、こうした動きと連動して、大学等におけるバイオリソースについては、我が国のライフサイエンス分野で利用されるバイオリソースの概ねを占めてきたことか

図表5 大学等における生物遺伝資源の整備

1997	培養細胞：東北大学加齢医学研究所
〃	オオムギ：岡山大学資源生物科学研究所
〃	カイコ：九州大学農学部
〃	マウス、イネ、大腸菌：国立遺伝学研究所
1999	ショウジョウバエ：京都工芸繊維大学

（国立遺伝学研究所 小原雄治教授作成資料より）

ら、学術審議会は1996年6月に「学術研究用生物遺伝資源の活用について」を報告し、大学等の付属機関としてバイオリソース毎に生物遺伝資源センターの設置が開始された（図表5）。

生物遺伝資源センターの設置と併せて、バイオリソースに関するデータベース構築とネットワーク化によって知的基盤を強固にするための取組が開始された。国立遺伝学研究所は1997年に生物遺伝資源情報総合センターを開設し、翌年より生物遺伝資源情報データベース事業を開始した。同センターでは、リソースの保存事業と密接に連携しながら、生物遺伝資源センター群を主な対象として、生物遺伝資源情報データベース（SHIGEN: SHared Information of GENetic resources）を構築・公開している。

一方、2 - 1の図表1に示した応用材料及びヒト材料を中心としたバイオリソースに関しても、時期を同じくして、農林水産省所管の農業生物資源研究所ジーンバンク、厚生労働省所管のヒューマンサイエンス振興財団、国立医薬品食品衛生研究所、国立感染症研究

所、環境省所管の国立環境研究所などでそれぞれ充実が図られてきている。

4 - 2

ナショナルバイオリソースプロジェクト

上記4 - 1の取組によりライフサイエンス分野のバイオリソースの整備が一定程度進んだものの、ゲノム研究の進展等によりライフサイエンス分野の知的基盤の整備が一層重要となってきたことに鑑みて、2002年度より文部科学省によりナショナルバイオリソースプロジェクトをスタートさせた。

このプロジェクトでは、実験動植物、ES細胞（胚性幹細胞）などの幹細胞、各種生物の遺伝子材料等のバイオリソースのうち、国が戦略的に整備することが重要なものについての体系的な収集・保存・提供等を行うための体制を整備することを目的としており、2010年までに世界最高水準のバイオリソースの整備を目標としている。

2002年においては、図表6のとおり、23種類のリソースについてそれぞれ中核的拠点を整備し、リ

ソースの体系的な収集・保存・提供等を行うとともに、各リソースの所在情報や遺伝情報を集約し情報提供する情報センターを整備することとしており、2002年度の事業費の規模は合計44億円である。

4 - 3

海外における主要なバイオリソースセンター

海外におけるバイオリソースの整備状況について見た場合、米国におけるバイオリソースの整備が最も進んでいる。中核的拠点が設置された時期は早く、規模的にも大規模であり、我が国の研究者も米国などからリソースの供給を受けて研究開発を進めざるを得ないほどの状況にある。

ライフサイエンス分野の基礎研究から応用研究にまで広範に利用される実験用マウスにおいて世界最大規模の供給拠点である米国のジャクソン研究所（Jaxon Labora-

図表6 ナショナルバイオリソースプロジェクトの概要

I. 中核的拠点整備プログラム		
実験動物	<ul style="list-style-type: none"> ●マウス（開発・保存・提供） ●マウス（ミュータジェネシス） ●ラット ●ショウジョウバエ ●線虫 ●アフリカツメガエル ●カイコ ●メダカ 	<ul style="list-style-type: none"> 理研BRC 理研GSC 京大・医・動物実験施設 京都工繊大 東京女子医大 広島大・両生類研 九大・農 名古屋大・生物分子応答セ
実験植物	<ul style="list-style-type: none"> ●シロイヌナズナ ●イネ ●コムギ ●オオムギ ●藻類 ●広義キク属 ●アサガオ 	<ul style="list-style-type: none"> 理研BRC 国立遺伝研 京大・農 岡山大・資源生物研（独）国立環境研 広島大・植物遺伝子 九大・理
微生物	<ul style="list-style-type: none"> ●病原微生物 ●大腸菌 ●酵母 	<ul style="list-style-type: none"> 千葉大・真菌医学セ 国立遺伝研 大阪市大・理 岡崎・生理研
霊長類	<ul style="list-style-type: none"> ●ニホンザル ●チンパンジー（調査） 	<ul style="list-style-type: none"> 東大・農
細胞/DNA	<ul style="list-style-type: none"> ●動植物培養細胞、がん細胞、DNA等 	<ul style="list-style-type: none"> 理研BRC
ヒト培養細胞	<ul style="list-style-type: none"> ●ES細胞 ●標準ヒト培養細胞株（調査） 	<ul style="list-style-type: none"> 京大・再生医科学研究 東北大・加齢医学研
II. 情報センター整備プログラム		国立遺伝研

（文部科学省ライフサイエンス課作成資料より）

tory）は1930年代に設立され、また、微生物の供給拠点として知られる米国のATCC（American Type Culture Collection）は1920

年代に設立されているというようにその歴史は古い。これらの機関はいずれも非営利の団体として運営されており、NIHによって資金

図表7 海外における主要なバイオリソースセンター

米 国	欧 州
<ul style="list-style-type: none"> ● NIH (National Institutes of Health) 研究資源保存機関に対する研究費と事業費の支援 ● NCI (National Cancer Institute, NIH) 全般的な支援 ● NCRR (National Center for Research Resources, NIH) 医学用研究資源から一般生物学研究用資源の支援 ● ATCC (American Type Culture Collection) ウイルス、細菌、細胞、菌類、培養植物、原生生物、酵母 ● CCR (Coriell Cell Repositories) ヒト遺伝性疾患に由来するヒト細胞 ● FGSC (Fungal Genetics Stock Center, University of Kansas Medical Center) 菌類を分譲 ● CDC (Centers for Disease Control and Prevention) 病原性微生物 ● JAX (Jackson Laboratory) マウス ● ZFIN (Zebrafish Information Network, University of Oregon) ゼブラフィッシュ ● Fly stock (Bloomington Drosophila Stock Center, Indiana University) ショウジョウバエストックセンター ● National Resource for Aplysia Facility, University of Miami アメフラシ ● National Resource Center for Cephalopod, The University of Texas Medical Branch 頭足動物 ● CABRI (Common Access to Biotechnological Resources and Information) ヨーロッパ各国の生物研究資源機関の情報集約 	<p>(英国)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● UKNCC (United Kingdom National Culture Collection) 微生物、動物細胞、植物細胞などの10収集機関の連合体。 ● CABI (CAB International) 遺伝子資源の提供、様々な生物種の同定や検査業務 ● CAMR (Centre for Applied Microbiology & Research) 生物医薬関係の研究資源提供 ● ECACC (European Collection of Cell Cultures) 動物培養細胞の分譲 ● NCIMB (National Collection of Industrial and Marine Bacteria) 産業および海生微生物の分譲 ● NCTC (National Collections of Type Cultures) 細菌、真菌、マイコプラズマ、プラスミッド、トランスポゾン <p>(オランダ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● CBS (Fungal Biodiversity Center - Utrecht, The Netherlands) 真菌、酵母、細菌の収集機関 <p>(ドイツ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● DSMZ (German Collection of Microorganisms and Cell Cultures) 微生物の収集や動物培養細胞の収集 <p>(フランス)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Institut Pasteur 微生物とプラスミッドが中心 <p>(ベルギー)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Belgian Co-ordinated Collections of Micro-organisms (BCCM) 真菌や酵母株を標準株として保有して分譲

（国立医薬品研究所 水沢博氏作成資料より）

的なサポートが行われている。

このうち、ジャクソン研究所について見た場合、2000年において、事業費の総額は88.1百万ドル（約5割をNIHが負担、マウス販売収入は34.2百万ドル）、1022名

のスタッフ（うち260名が研究者）と我が国の中核的拠点とは比較にならない規模の機関である。また、保有するマウスの系統も2,700系統を超え、一年間に約2百万匹のマウスを大学等に供給している。

なお、我が国においては、最大の中核的拠点である理化学研究所のバイオリソースセンター（理研BRC）に寄託されたマウスが619系統（2002年7月現在）である。

5. おわりに

我が国においても、2002年度より文部科学省による施策として、ナショナルバイオリソースプロジェクトが開始され、生物種毎の中核的拠点の整備とそれを結ぶ遺伝資源センターネットワークがアカデミア中心に構築されつつある。大学等の研究者からも当該プロジェクトの開始により、これまでバイオリソースが大学等の研究室に散在し、研究コミュニティに有効に活用されなかった状況はある程度改善されるとの期待も高まっている。

一方で、バイオリソースについては、ライフサイエンス分野の研究の流れとともにその価値が変動したり、バイオリソースを担う人材の育成に関しては長期的な視点に立って施策を推進していく必要があることから、今後のフォローアップが重要である。

具体的には以下の点に配慮して施策を推進していく必要があると考えられる。

5 - 1

短期・長期のバランスのとれた支援施策

ライフサイエンスにおいては、どのような生命現象が研究の主たる対象になるかが時代とともに変遷してきている。このため、バイオリソースは研究の流れとともに価値が変動する。例えばゲノム研究の過程において人為的に大量に作成される突然変異体やトランスジェニック生物を例として考えると、遺伝子の機能解明のツールとして目的が達成された後にはその

価値は低下する。さらに、これらは場合によっては必要に応じて再度作出することも可能である。こうしたものに対しては、時限を区切った緊急的な支援施策が必要である。

一方で、自然が作った亜種、近縁種などのかけがえのないリソースについては、人為的に作出することが不可能であるものも未だ多いことから、安価な保存技術を開発しつつ、恒久的な収集・管理を推進していくことなど、短期・長期のバランスのとれた支援施策が必要である。

5 - 2

人材育成に配慮した継続的な支援施策

バイオリソースについては、2 - 3で示したとおり、①生物種毎に維持・増殖の方法に個別性があること、②リソースの遺伝的背景などの情報が高い価値を持つことなどから、リソースを維持・管理する専門家の養成が重要である。

ナショナルバイオリソースプロジェクト等の施策においては、大学等の公的研究機関に付属するリソースセンターを専ら中核的拠点として、バイオリソースの収集から供給までに必要な経費を政府がサポートすることとしているが、専門家を養成するという視点に立った場合には、短期的な事業費のサポートのみならず、人材確保面での中長期的な支援施策が必要となるであろう。

欧米のバイオリソースセンター

においては、センターの規模が大きいことから、テクニシヤンの人事制度が充実しており、テクニシヤンとして昇格できるキャリア・トラックがある。テクニシヤンを高く評価することで、バイオリソースの整備を任せられる人材が育成され、優秀な研究者は、リソース整備に関する方針を立てたり、テクニシヤンに指示を出すという役割分担が図られている。

5 - 3

バイオリソースとゲノム情報

現在、バイオリソース整備に付随した情報は、リソースの所在情報が主で、リソースの遺伝的情報が一部含まれている程度といった状況である。また、塩基配列情報などのゲノム情報に付随するバイオリソースの情報（どのようなバイオリソースから得られたゲノム情報であるかなど）については、記述方式に斉一性が欠けていたりするなど、必ずしも充実したものではない。

将来的に多様な生物種において遺伝子の機能解析が進んでくことを想定すると、ゲノム情報と個体レベルの形質に関する情報が密接にリンクしてくことから、ゲノム情報に付随したバイオリソースの情報は一層重要となる。

したがって、塩基配列情報などのゲノム情報のデータベースにおいて、バイオリソースの情報に関するオントロジー^①をどのように構成するかを検討していく必要がある。

用語説明

①オントロジー

研究対象ごとに特有な概念や用語を使うのではない、統制された語彙や記述方法

てまとめたものである。

本稿をまとめるにあたって、小原教授には、御指導をいただくとともに、関連資料を快く御提供いただきました。

文末にはなりますが、ここに深甚な感謝の意を表します。

謝 辞

本稿は、科学技術政策研究所において2002年7月25日に行われた国立遺伝学研究所 副所長・生物

遺伝資源情報総合センター長・教授 小原雄治氏による講演会「バイオリソースの現状とわが国の方策」をもとに、我々の調査を加え

.....

特集②

グリッド技術の動向

—次世代インターネット利用の中核技術になるか—



情報通信ユニット 巨理 誠夫

1. はじめに

最近「グリッド」という言葉を見る機会が多くなってきた。グリッド技術とは、ネットワークを介して計算資源をいつでも必要なだけ利用できるようにする技術である。もともとグリッドは、電力の送電線網のことを指す言葉で、発電機のことを気にせずコンセントから電力を自由に使えることから、この名前がついた。

グリッド技術を用いて優れた性能を出した例が出現して注目され始めた。ネットワークに接続された複数の高性能コンピュータを一つの巨大なコンピュータのように使用したり、多数のパソコンの遊休時間をインターネットを介して収集し、スーパーコンピュータ並の計算をさせている。さらに、最

近では、計算パワーの共有化だけでなくデータや大規模実験装置などの共有化技術が研究されており、高エネルギー物理や宇宙科学など巨大科学研究を進めるための基盤として注目されている。また、IT（情報通信技術）とバイオ、ナノとの融合領域でも、グリッドが有効なツールとして注目され、欧米では、多くのグリッド応用プロジェクトが開始されている。このようなグリッド技術が科学研究のスタイルを変えていくとも言われている。

このグリッド技術は、インターネット利用を一段階広げていく技術とも考えられ、世界中の多くの研究者、技術者、コンピュータメーカー、ソフトウェアベンダーに

よって、研究、標準化、ビジネス化が勢力的に進められている。

本稿では、今注目されているグリッド技術やそのプロジェクトを紹介し、この技術の日本の強み弱みを述べ今後の課題を述べる。

尚、「グリッド」という言葉は、スーパーコンピュータの利用技術から発展してきたため、当初グリッドコンピューティングと言われていた。しかし、グリッドが発展し、単にコンピューティング（計算）のみならず、大規模データや、特殊実験装置の共有化する利用環境までを含むようになったため、本稿では、広い意味で捉えて、グリッドと呼ぶことにする。

2. グリッド技術の狙い

グリッドの概念は、電力供給のユーティリティモデルのように、計算資源や情報資源をネットワークを介してユーザーに必要なとき必要なだけ使える環境を提供することにある。もう少し厳密な定義をすると「グリッドとは、ネットワーク上に分散した多様な計算資源や情報資源（コンピュータ、記憶装置、可視化装置、大規模実験観測装置）を仮想組織のメンバーが一つの仮想コンピュータとして利用する環境」となる。具体的には、図表1に示すように、ネット

ワーク上にある計算資源や情報資源を仮想コンピュータとして捉え、それを利用するために、現実の組織を超えてある目的のために造られた仮想的な組織のメンバーとして登録して、利用する。これらの機能は、それぞれのサイトに埋め込まれたグリッドミドルウェア^①が動作し実現する。さらに、自分がプログラミングした所望の計算を実行する（計算サービス）だけでなく、他のサイトにある有用なプログラムやデータを利用して自分の目的にあったデータの処理・加工をする（アプリケーションサービス）ことが可能である。

用語説明

①ミドルウェア

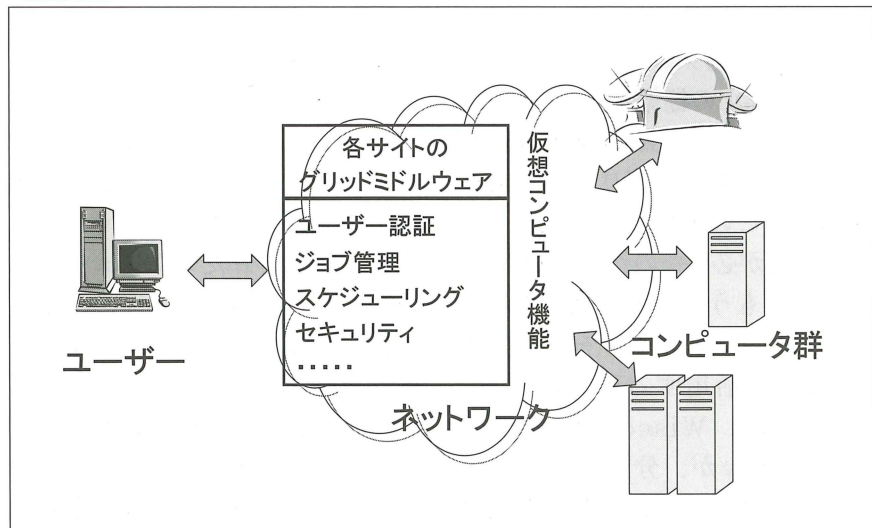
OSなどの基本ソフトウェアと応用ソフトウェアの中間に位置するソフトウェアで、OSには含まれないが、多くの応用ソフトウェアにて共通に利用される基本的機能を実現するソフトウェア群を指す。

このようなグリッドを構築することによる効能は、第一に、科学者・技術者に分散環境での効率のよい共同作業のツールを与えることである。例えば、EUのData Gridでは、世界各国の3000人の高エネルギー物理学者がグリッド上でデータやプログラムを共同開発し、共同利用して研究の効率を上げつつ、研究競争が行われている。巨大科学研究では、実験装置やデータの巨大化、大規模計算への要求が顕著であり、研究効率向上のためにも研究資源の共有化が求められている。

効能の第二は、分散資源の有効活用、使い勝手の向上である。例えば、ネットワーク上の遊休資源を活用して、スーパーコンピュータ並の計算能力を得たり、資源をネットワーク上で共有化して、一カ所では得られない大規模な資源として利用することを可能とする。ただし、この場合、ネットワークの速度を十分考慮しないと、データ転送に時間が取られ、高速な計算性能が得られないことがある。

効能の第三は、負荷分散と信頼性向上である。資源が分散化されているので、個々に大きな負荷が

図表1 グリッドのイメージ



発生してもネットワーク上の他の装置に負荷を分散できる。個々にはピーク時の最大負荷に耐えられる設備を持つ必要はなく、ネットワーク全体として耐えられる設備を準備すればよい。また、個々の装置がダウンしてもシステム全体としては運用が持続しており、信頼性が高くなる。ある部分が集中的にサイバーアタックに狙われた場合も、その部分を切り離し、業務・サービスは他の部分にて対応可能なため、危機対応としても有用である。

ところで、グリッド技術は、コ

ンピュータの高性能化技術ではなく、コンピュータの利用技術である。「グリッドがあれば大きなスーパーコンピュータはいらない」「大きなスーパーコンピュータがあれば、グリッドはいらない」などは誤解である。ネットワークを介すると計算効率が著しく低下する種類の計算も多くあり、スーパーコンピュータの性能向上は必要である。グリッドにとっても個々の高性能コンピュータの性能向上はグリッド全体の計算能力向上になる。

3. グリッド技術研究の歴史

グリッド技術は、80年代のコンピュータ遠隔利用研究や分散コンピュータ利用研究から発展してきている。これらの研究は、90年代に入り、理論だけでなく高速なネットワークを用いて実証することも可能になり、研究が加速していった。

1992年に、米国国立スーパーコンピュータ応用研究所（NCSA：National Center for Supercomputing Applications）のCharlie CatlettとLarry Smarrが「メタコンピューティング」という概念を発表¹⁾し、ネットワーク上に仮想的なコンピュータ環境を構築し大規模な並列処理を行うシステムの研究を

進めた。1995年に、イリノイ大Tom De Fantiとアルゴンヌ国立研究所のRick Stevens等が、I-Way（The Information Wide Area Year）プロジェクトにおいて、最初の大規模なメタコンピューティングの実験を行った。このプロジェクトでは、広域高速ネットワークにて全米17カ所の計算センターを結合し、仮想現実実験など多くのアプリケーションを走らせるデモを行った。このI-Wayプロジェクトをルーツとして、1996年にアルゴンヌ国立研究所Ian Fosterと南カリフォルニア大Carl KesselmanのチームがGlobus

プロジェクト²⁾を開始し、高性能分散コンピューティングのためのミドルウェアが開発され、1998年には、「グリッド技術」の概念を示す青写真³⁾が出された。ここでグリッドとは「ユーザーがコンピュータの所在などを意識することなく、いつでも必要なだけ計算資源を利用できる環境」と定義された。

このGlobusプロジェクトにて開発されたソフトウェアGlobus Toolkitは、ユーザー認証、グリッド資源配分管理などグリッドミドルウェアの基本機能を提供している。このソフトウェアは、アル

用語説明

②Tera

10の12乗すなわち、1兆を示し、Gigaの千倍でもある。

ゴンヌ国立研究所からオープンソースとして提供され、多くのグリッド構築研究プロジェクトで利用され、事実上の標準となっている。ただし、このGlobus Toolkitは基本機能のみであり、グリッドを構築するにはこの他に多くのソフトウェア開発が必要なのが現状である。

一方、もう一つの研究の流れとして、インターネットを介して遊休CPUを活用する研究がある。1985年に、Wisconsin大学のMiron Livnyが、分散したワークステーションの遊休CPUを使用して、計算実行を行うことを提案した。1991年にはCondorプロジェクトの中で、400CPU相当を集めることに成功している。1997年には、Scott KurowskiがEntropia社を設立し、2年後には、インターネットを介して遊休パソコンを集め、当時のスーパーコンピュータの最高性能に近いTera^②

Flops並の計算を実現した。

メタコンピューティングと遊休CPUの活用は、共に、ネットワーク上に分散されたコンピュータを仮想的に一つのコンピュータとして捉える技術であり、グリッドの要素技術となっている。

一方、日本でも遠隔地からコンピュータを利用するグローバルコンピューティングの研究が進められており、1994年からは、電子技術総合研究所（現産業技術総合研究所）関口智嗣、東京工業大学松岡聡等を中心に、Ninf（Network Infrastructure for Global Computing）プロジェクトが開始された。クライアントサーバ型のグローバルコンピューティングとして、クライアントがネットワークを介し

てサーバーに計算を実行させるプロトコルRPC（Remote Procedure Call）の設計と実証が進められた。この研究成果は、現在グリッドミドルウェアの一部として標準化が検討されており、独立して始められた同様の研究プロジェクトであるテネシー大のNetSolveプロジェクトと協力して、精力的に研究開発が進められている。また、日本原子力研究所、理化学研究所、大学の計算センターなどでは、スーパーコンピュータのネットワーク遠隔利用、共同利用の研究も進められてきた。これらは、グリッド技術を発展させていく上での重要な下地を作ってきている。

4. グリッド出現の背景

グリッドが今大きく発展している背景には、技術シーズが成長してきた点と応用ニーズが高まってきた点がある。技術面でみれば、最近のインターネットのバックボーンは、国内では10 Gbpsクラス、国際間で1 Gbpsクラスとなり、

いわゆるブロードバンド時代が到来している。また、インターネットの利用の拡大とともにネットワークの高速化、信頼性の向上が進み、使い勝手の良いインターネットを介した分散コンピューティング環境をグリッドが提供できるよ

うになってきた。

一方、応用面では、e-Science^③に代表されるようなITを駆使した科学研究、バイオやナノテクノロジー研究においてグリッドが研究ツールとして必須のものとして考えられ始めている。また、高エネルギー物理、宇宙科学など巨大科学は、高価で特殊な実験装置やデータ解析を共有化することで研究の効率アップを図ろうとしており、グリッドが研究環境の基盤として考えられている。

用語説明

③e-Science

ITを用いて科学研究を推進加速させること。または、強力なITにより研究を推進している研究分野を指す。ITとして、インターネット、高性能コンピュータ、グリッドなどがあるが、ITは研究の単なるツールだけではなく、研究の方法スタイルなども変えていき、例えば、バイオインフォマティクスのような新しい研究分野も作り出す。英国の有名なプロジェクトの名前であるが、そのプロジェクトの目指している概念をe-Scienceと言うことも多い。

5. グリッドの応用例

グリッドは、様々な応用が考えられており、これからどのような応用展開が考えられるかグリッド応用の代表例を説明する。

(A)メタコンピューティング

ネットワーク上に分散配置されたスーパーコンピュータなどの高

性能コンピュータ（HPC）複数台を同時に使用して、1台では得られない大規模な計算を行う。仮想的な巨大コンピュータを実現させようとする。グリッドにて実行さ

せる計算のタイプとしては、単一プログラムであるが内部計算を分散し並列に複数のコンピュータにて計算するタイプと、同じプログラムを複数のコンピュータに格納しそれぞれに異なったデータを入力して並列に計算させその結果を解析する(パラメータスイープ)タイプが考えられる。ネットワークのデータ転送はコンピュータ内のデータ転送とは桁違いに遅いため、グリッドでは計算中のデータアクセス範囲が狭いいわゆる粒度の小さな計算でないと効果が出ない。

(B)研究グリッド(仮想研究所)

研究者や研究機関がコミュニティを形成し、相互の計算資源、データ資源、実験装置をネットワークを介して共有化する。データを相互利用することに加えて、各研究機関がもっている応用プログラムを相互にカップリングして複合シミュレーションすることも可能となる。

従来の遠隔利用は、個別にソフトウェアを構築していた。グリッドではインターフェースが共通化され、より広範に接続できるようになった。

例としては、図表2-1に示すように米国では高エネルギー物理研究Grid Physics Network、核融合研究Fusion Grid、宇宙観測研究National Virtual Observatory、気象研究Earth System Grid、バイオインフォマティクス研究Biomedical Informatics Research Network(BIRN)などがあり、欧米でも同様のプロジェクトにてグリッドが構築されている。

(C)Access Grid

Access Gridでは、遠隔地の共同研究者と同じ画面、同じ計算結果を共有して、共同研究を円滑にスピーディに進める環境を提供す

る。高速なネットワークを介したマルチキャスト通信を利用しており、テレビ会議システムに比べ、画質もよくファイル共有など共同作業を効率よく進めるためのツールが備えられている。

(D)データグリッド

一つの場所には格納しきれないような大規模なデータや各地に分散配置されたデータをネットワークを介して遠隔地からアクセス可能とするもので、Data Intensive Computingとも言われる。このデータグリッドは、現在研究中であり、大容量のデータの効率よい格納、読み出し、インターネットの大容量通信などが研究テーマである。ここで注意すべき点は、データの転送時間である。超高速ネットワークを用いても大容量データの送信時間は非常に長くなるため、データの発生した場所で一次解析計算などを行う必要もある。

例えば、欧州原子核共同研究機関(CERN)の巨大加速器の実験では、500研究機関の研究者7,000名が年間に数億回の実験を行い6~8 PetaByteのデータが発生する。このような高エネルギー物理の実験データを解析し研究者間で共有するためのグリッドを、欧州のEU Data Gridや米国のGrid Physics Network(GriPhyN)プロジェクトで開発中である。この他、複数の宇宙観測所にて得られたデータから全宇宙を記述しようとする研究でもグリッドが使われており、データグリッドにより巨大科学を効率よく推進することができる。

(E)計算サービスグリッド

ある組織内の複数の計算サーバーをネットワークに接続し、計算サーバーのタイプを意識せずに必要とときに必要なだけ計算パワー

を利用できる環境を提供する。計算サービスグリッドは、いわば仮想コンピューティングセンターである。例としては、東工大キャンパスグリッドがある。キャンパス内に分散設置されたPCクラス(合計約800プロセッサ)と25 TeraByteのストレージをギガビットクラスの高速キャンパスネットワークを介して利用する。この他、企業内において、計算センターを企業内イントラネットで結合して計算サービスグリッドを構築している例がある。

この発展形として、計算サービスの事業化が検討されているが、現状では、課金やセキュリティの問題が残っている。従って、現在は、大学内に閉じたキャンパスネットや企業内のイントラネットを使用して実現されている。

(F)グリッドASP (Application Service Provider)

グリッドASPとは、高性能コンピュータに整備された応用プログラムを遠隔地からネットワークを介してデータを与えて実行し、結果を得るサービスである。前記の計算サービスグリッドでは、ユーザーがプログラムを作成しているが、グリッドASPは、既に作られた有用なプログラムを利用する。さらには、ゲノムデータなど有用なデータセットを利用するサービス提供も考えられる。例えば、医療データはプライバシー保護のため外部に出すことはできないが、グリッドにより、解析プログラムをデータベースサイトで実行させ、その結果のみ得ることなどが可能となる。

(G)デスクトップグリッド コンピューティング

個人のパソコンには空き時間が結構あることに注目し、その空き

時間の計算パワーを集めて一つの目的の計算実行を実現する。空き時間の提供はボランティア的に無償の場合がほとんどであるためボランティアコンピューティングとも言われている。

この例としては、宇宙観測データ解析 (SETI@home: Search Extraterrestrial Intelligence at Home) や癌、エイズ、白血病の新薬開発 (Parabon's Compute-against-Cancer, Entropia's Fight-AidsAtHome, United Devices' Cancer Research Project, Intel's Philanthropic Peer-to-Peer Program) などがある。SETI@homeの例では、400万人のボランティアがパソコンの空き時間を提供し

ており、40 TeraFlops性能のスーパーコンピュータと同等の計算能力を得ている。

このデスクトップグリッドコンピューティングでは、一つ一つのコンピュータの能力は小さくかつ速度の遅いネットワークにて接続されているため、このグリッドで対応できる計算のタイプは限定される。同じ処理を多量の異なる入力パラメータに対して計算するパラメータスイープ型が向いている。また、ソフトウェアの更新、セキュリティ、プライバシー保護、対故障性 (故障しても再開可能) 等の対策が必要である。

最近では、企業内のパソコンの空いている計算パワー利用して、

受発注業務を実行させている例もある。ここでのパソコンは企業内のイントラネットに接続されているため、セキュリティや課金の問題は回避できている。

(H) センサーグリッド

ユビキタスコンピューティング環境におけるグリッドの究極の形であり、いたるところに置かれたセンサ群がインターネットに接続され、そのデータを利用しようとする未来のグリッドである。例えば、遠隔地に配置した多数のセンサのデータを収集解析して地球環境のモニタリングなどが考えられる。

6. グリッドプロジェクト

グリッドは、基礎科学、特に巨大科学を進める上での重要な基盤となるのみでなく、さらには、ITとバイオ、ナノとの融合領域においても不可欠の基盤であるとの認識から、欧米で積極的に国家プロジェクトが実施されている。ここでは、米国、欧州、アジア諸国の取り組みを紹介する。その一覧表を図表2-1から図表2-5に示す。

(A) 米国のプロジェクト

グリッド技術はスーパーコンピュータをネットワークを介して利用する米国の研究から始まっており、米国には過去のグリッド技術開発と実証システム開発の蓄積がある。その上に、さらなるグリッド技術開発、大規模な実証システム、グリッド応用開発が積極的に進められている。

例えば、NSFのTera Gridプロジェクトでは、TeraByteスケールの大容量データ処理の研究が行われており、大規模実証システムとして全米の4つの計算センターが参加し、13.6 TeraFlopsの高性

能コンピュータと576 TeraByteの巨大ストレージが40 Gbpsの高速ネットワークに接続される計画である。もう一つの注目すべきプロジェクトとして、NIHのBiomedical Informatics Research Network (BIRN) がある。このプロジェクトでは、カリフォルニア大サンディエゴ校を中心とする全米10の医療研究機関によって、アルツハイマー病などの研究のため、脳の様子を可視化し、データを共有するグリッドを開発中である。これには医療の現場を含め多くの研究者が参加している。

一方、昨年9月の同時多発テロ事件をきっかけに、米国政府ではホームランドセキュリティの強化に向けた検討が進められており、サイバーテロ対策も重要な項目の一つである。グリッドプロジェクトにおいてもこの観点からのセキュリティの再検討が進められており、グリッドにおけるセキュリティの問題は他の問題より優先度が高くなっている。

(B) 英国と欧州のプロジェクト

英国では、2000年度からe-Scienceプロジェクトを開始している。このプロジェクトの狙いは、科学研究をITにより推進加速させることにある。具体的にはグリッド技術をベースにして、高価なコンピュータや高価な実験装置の共同利用、世界的に分散した大規模データの共同利用を実現するプロジェクトを精力的に進めている。グリッド基盤としては、英国9カ所に国立e-Scienceセンターを設立し、高性能コンピュータを高速ネットワークにより接続したグリッドを構築している。このグリッド上に作られる応用は、高エネルギー物理、ゲノム、バイオ、たんぱく質構造解析、医療・保健、環境、気候、宇宙、化学・材料など多岐に渡っている。e-ScienceのリーダーであるJohn Taylor (Director General, Research Councils UK OST) は「グリッドは、英国にとって、国際的な科学研究に参加するために必要な基盤であ

る」と言っている。

欧州には、スーパーコンピュータのメーカーはないが、スーパーコンピュータ応用の蓄積は大きく、グリッド応用への取り組みは早い。EUの代表的なプロジェクトとしては、大規模データを取り扱う EU Data Gridがある。CERNが中心となり米国、日本とも連携を取って進められている。

EUのプロジェクトはEU加盟の複数国の共同開発が条件であるが、グリッドは共同研究の基盤を構築するものでなので、EUプロ

ジェクトによく適合している。一方、英国以外の欧州各国でも、ドイツの Unicore、イタリアの INFN Grid (Italian National Institute for Research in Nuclear Physics)、オランダの Grid-based Virtual Laboratory Amsterdam (VLAM) などのプロジェクトが進められている。

(C)日本のプロジェクト

2001年から開始された ITBL (IT-Based Laboratory) プロジェ

クトでは、日本原子力研究所と理化学研究所を中心に仮想研究所の構築を目指し、スーパーコンピュータを通信回線で接続し共同研究の環境を作っている。グリッドを前面に出したプロジェクトとしては、2001年度補正予算にて、産総研グリッド研究センター設立、東工大キャンパスグリッド構築などが動き出した。2002年度には、阪大を中心としたバイオグリッドプロジェクトが開始され、また、科研費「ゲノム情報科学」研究の中で、東大、北陸先端大、徳島大、

図表 2-1 米国主要グリッドプロジェクト

プロジェクト	機関	予算	期間	目標
PACI National Technology Grid	NCSA, SDSC	NSF	1998～	Globusを普及させ、分散した研究所支援のため計算グリッドを構築
Information Power Grid	NASA	NASA (インフラを除いた応用への資金は\$7～8M)	1999～	異機種分散コンピューティングシステムにより Multi-disciplinary Simulation を実行、可視化
Access Grid	ANL, LBNL, LANL, NCAR, NCSA, 他	DOE, NSF \$2M/年	1999～	グリッド上に遠隔会議システムなどコラボレーション用システムを開発・運用する。この成果の一部を利用して、GGFの会議が Access Grid メンバーには放映された。
ASCI Grid (DISCOM)	Sandia NL, LLNL, LANL	DOE	1999～	ASCIのグリッド応用。セキュリティ開発
Grid Physics Network (GriPhyN)	ANL, U of Florida, Fermi Lab, 他	NSF \$12M/5年	2000～	高エネルギー物理や天文学におけるデータの共有化
Particle Physics Data Grid (PPDG)	ANL, LBNL, Caltech, SDSC, 他	DOE \$9M/3年	2000～	素粒子物理のデータの共有化
Tera Grid	NCSA, SDSC, ANL, Caltech	NSF \$12M@2001, \$53M@2002	2001～	One Peta byte Gatewayの構築: 13.6TF, 6.8TB メモリ, 79TB 内部ディスク, 576TB ネットワーク結合ディスク
International Virtual-Data Grid Lab (iVDGL)	U of Florida, U of Chicago, Indiana U, Caltech, Johns Hopkins U, 他	NSF \$13.7M/5年	2001～	米国、欧州、日本等のデータグリッドを結合し、データグリッドの技術開発、普及を図る
Network for Earthquake Eng. Simulation Grid (NEES)	U of Southern California, U of Michigan, ANL, NCSA, 他	NSF \$10M/3年	2001～	地震シミュレーション
National Virtual Observatory (NVO)	Johns Hopkins U, Caltech, 他	NSF \$10M		仮想宇宙観測研究所
Grid (Grid Research Integration Deployment and Support) Center	U of Chicago, U of Southern California, U of Illinois, U of Wisconsin, 他	NSF \$12M	2001～	グリッド基盤ソフトウェアの統合、運用、サポート
DOE Science Grid	DOE			DOEの科学グリッド全体の総称。グリッドの普及と運用、研究者の支援ツールを開発。
Fusion Grid	ANL, LBNL, Princeton Plasma Physics Lab, General Atomics, MIT, 他	DOE \$6M/3年	2001～	核融合研究のグリッド
Earth Systems Grid	ANL, LLNL, NCAR, 他	DOE \$5M/3年		気象研究のグリッド
Biomedical Informatics Research Network		NIH \$20M	2002～2006	脳や神経系の可視化技術とデータベースの共有化

ANL=Argonne National Lab, LANL=Los Alamos National Lab, LBNL=Lawrence Berkeley National Lab, LLNL= Lawrence Livermore National Lab, NCSA=National Center for Supercomputing Applications, SDSC=San Diego Supercomputer Center, NCAR=National Center for Atmospheric Research

(各種ホームページより科学技術動向研究センターにて作成)

理化学研究所などによるバイオインフォマティクス用グリッド構築が開始されている。2003年度には世界最高水準のグリッド構築を目指したナショナル・リサーチグリッド・イニシアティブや、グリッドによる柔軟なサービスの提供

するソフトウェアを開発するビジネスグリッドプロジェクトなど本格的なグリッド構築が計画されている。

なお、2000年から開始されたスーパー SINET プロジェクトによって、大学や国立研究所の計算セ

ンターが高速ネットワークにて接続され、これらは、グリッド構築のための重要な基盤となっている。

(D)アジアのプロジェクト

アジア地区では、韓国、中国を

図表 2-2 欧州主要グリッドプロジェクト

プロジェクト	機関	予算	期間	目標
Grid in 6th Framework Program		EC 300 M Euro/5年	2003～2007	FP6全体はIT、バイオ、ナノ、宇宙、食品、環境、エネルギー、知的社会が対象。その各分野で合計300MEuroにてグリッド構築を計画。
EU Data Grid	CERN, U of Heidelberg, IBM UK, CNRS, INFN, PPARC, SARA, 他	EC 9.8 M Euro/3年	2001～2003	ペタバイトのデータ処理をリアルタイムで実行するネットワーク。
EuroGrid	Forschungszentrum, Pallas GmbH, U of Bergen, CNRS, Warsaw U, U of Manchester, ETH Zurich, 他		2001～2003	グリッド応用開発：分子生物モデル、気象予測、CAEシミュレーション、グリッドミドルウェア開発
GRIP (Grid Interoperability Project)	U of Southampton, Deutscher Wetterdienst, U of Manchester, Pallas GmbH, U of Warsaw U, 他	EC	2002～2003	UNICORE と GLOBUS の互換性の確立
MAMMOGRID	U of West England, U of Pisa, U of Oxford, U of Cambridge, Mirada Solutions, 他	EC	2002～2005	Develop Mammogram database for healthcare research

図表 2-3 英国主要グリッドプロジェクト

プロジェクト	機関	予算	期間	目標
eScience		£ 120M/3年	2001～2004	科学研究推進のためのグリッド開発の全体プログラム。その内£ 75Mはグリッド応用開発
Grid Particle Physics	Universities of Birmingham, Bristol, Cambridge, Edinburgh, Glasgow, Lancaster, Liverpool, Manchester, Oxford, Sheffield, Sussex, Imperial College, CERN, 他	DTI PPARC £ 17M/3年		EU DataGrid (CERN)、US GriPhyN と PPGrid と共同で素粒子物理研究
Astro Grid	Universities of Edinburgh, Leicester, Cambridge, Queens Belfast, 他	DTI PPARC £ 5M	2001～2004	EU AVO と US NVO と共同で宇宙観測研究
DAME (Distributed Aircraft maintenance Environment)	Universities of York, Oxford, Sheffield, Leeds, 他	DTI EPSRC £ 3M	2002～2004	航空機のメンテナンスにおいて航空データ、エンジンデータなどを共有化する
Reality Grid	Universities of London, Manchester, Edinburgh, Loughborough, Oxford, 他	DTI EPSRC £ 3M		材料研究のツール
myGrid	Universities of Manchester, Southampton, Nottingham, Newcastle, Sheffield, 他	DTI EPSRC £ 3M	2001～	バイオなどのデータをIT技術者だけのものにするのではなく、医者など自分のものとして使用できる環境を作る。
Biology, Medical, Environmental Science	計画中	DTI £ 23M		バイオ、医療、環境分野でのグリッド

DTI=Dep. of Trade and Industry, PPARC=Particle Physics and Astronomy Research Council, EPSRC=Engineering and Physical Sciences Research Council, NERC=Natural Environment Research Council

(各種ホームページより科学技術動向研究センターにて作成)

初め、台湾、シンガポールなどでグリッド研究が進められている。米国、オーストラリアを含めたアジア太平洋地区のグリッド活動を推進する母体として、アジア太平洋グリッドAPGridとアジア太平洋GRID応用会議（PRAGMA: Pacific-Rim Application & Grid-Middleware Assembly）があり、日本がリード役となってこの地区のグリッド活動を推進してきている。また、Asia-Pacific Advanced Network (APAN) の活動によって、グリッドのベースとなる高速ネットワークが構築されてきている。このような活動の実績から、世界の標準化団体グローバルグリッドフォーラム（GGF）中でアジ

アが世界3極の一つとして発言権を確保できている。アジア各国とも積極的にプロジェクトを立ち上げてきており、キャッチアップは早い。日本もさらに先に進まなければすぐ追いつかれてしまうと思われる。

(E)日本のプロジェクトにおける課題

欧米でのグリッドプロジェクトは、グリッド技術開発と共に応用開発に力を入れている。応用開発では、バイオやナノなどの分野とIT分野の協力関係が重要である。日本では研究者が積極的に他の分野に入り込んで研究すること

が過去少なかったと思われる。グリッド応用開発では、IT技術者が応用分野に飛び込んでその分野のソフトウェアを作っていくことが求められている。

欧米には、大学生まれのソフトウェアが多くある。グリッドの場合も、既にグリッドソフトウェアのベンチャーが大学から生まれている。1993年に開始されたバージニア大のLegionプロジェクトをベースにプロジェクトリーダーのAndrew Grimshaw教授がその商用化のためApplied MetaComputingを設立（現在はAVAKI社）している。

一方、日本の大学のプロジェクトにおいて、ソフトウェアが作ら

図表2-4 日本主要グリッドプロジェクト

プロジェクト	機関	予算	期間	目標
IT-Based Laboratory (ITBL)	原研、理研、他	文科省50億円 52億円@2000 27億円@2001	2000～	スーパーSINETを介してスーパーコンピュータを接続した仮想研究環境を構築。
科研費特定領域研究「情報学」A05グリッド	阪大、東工大、国立天文台、他	文科省8億円/5年	2001～2005	医療グリッド阪大下條班 P2Pデータグリッド東工大松岡班 国立天文台、他
東工大キャンパスグリッド	東工大	2001年度補正 予算2億円	2001	学内キャンパスグリッドの構築
阪大バイオグリッドセンター	阪大	2001年度補正 予算2億円	2001	グリッドインフラ構築
eサイエンス実現プロジェクト「スーパーコンピュータネットワークの構築」	阪大、他	文科省5.5億円 @2002	2002～2006	大規模データグリッドとコンピューティンググリッドの連携技術の開発
ネットワークコンピューティング技術の開発「グリッドクラスター・フェデレーション」	産総研、東工大、筑波大、東大	経産省13億円/5年	2002～2006	クラスタ技術、グリッド技術、10ペタバイト級の大容量データ処理の実現
ナショナル・リサーチグリッド・イニシアティブ (NAREGI)	計画中	文科省（計画中）	2003～2007	世界最高水準のグリッド環境を構築し、バイオ、ナノ分野等と情報通信分野との連携の下で行う融合領域研究を推進
グリッド・コンピュータ「ビジネスグリッドコンピューティング」	計画中	経産省（計画中）	2003～2005	ネットワーク上の多数のコンピュータ、記憶装置をあたかも一つのコンピュータのように使い、柔軟なサービスを提供するソフトウェア開発

（各種ホームページより科学技術動向研究センターにて作成）

図表2-5 韓国・中国主要グリッドプロジェクト

プロジェクト	機関	予算	期間	目標
Korea Grid Initiative	韓国科学技術情報研究所 (KISTI) が中心	43億円/韓国情報通信省 (NWを含まず)	2002～2006	グリッドミドルウェア開発、Data Access, 応用開発（予算の半分以上は応用開発）
China Computational Grid	中国科学技術院	\$ 40M/中国科学技術省		10のHPCセンターをNWにて接続。応用の一つはゲノム

（各種ホームページより科学技術動向研究センターにて作成）

れているが、商品化へつながっていない。その原因は、大学のプロジェクトでは多くの技術者を抱えることが難しいため、プログラムのコア部分のみを作成し要素機能の実証をすることまでしか行われていないことにある。しかし、製品化するためには、周辺部のプログラムを作成し、より規模の大きい実証を行う必要があり、多くの技術者による開発が必要である。

米国の大学のプロジェクトでは、多くの技術者を採用することが可能なため、比較的大規模な実

証実験まで行っている。米国政府はプロジェクトにおいて基礎研究のみならず、その産業可能性の検証までも求めているケースが多い。このようなプロジェクトにて採用された技術者たちは、プロジェクトが終了するとベンチャーを起業したり、別のプロジェクトなどに移動するというような流動性がある。最近でこそ日本でも大学プロジェクトにおいて人を採用することが可能となったが、技術者の流動性はまだまだ乏しくまた人材難である。大学における知的財

産権の取り扱いも、各種制度が整備されつつあるが、まだ過渡期にある。

今後、日本の大学の大規模なプロジェクトの成果をベースにソフトウェアが多く生まれてくることを期待したい。欧米を見ても、革新的なソフトウェアは、やはり大学を中心としたプロジェクトから生まれており、これがソフトウェア技術力のベースにある。日本のソフトウェア技術力向上のためにも大学でのソフトウェア作成力の向上、技術力の蓄積が求められる。

7. 標準化動向

グリッドは、世界各国と接続できて初めて機能するものであるため、インターフェースの標準化が重要な課題となっている。

グリッド標準化活動は、1998年末に、米国でグリッド研究プロジェクト関係者が集まりグリッドフォーラム（GF）が結成されたこ

とを契機に、開始された。その後、欧州ではE-Grid（European Grid Forum）、アジア太平洋ではAP-Grid（Asia-Pacific Grid Forum）が、それぞれの地区のグリッド開発を推進していた。2001年には、グリッドフォーラム（GF）が、E-GridとAP-Gridの標準化活動を

吸収合併し、全世界的な標準化団体グローバルグリッドフォーラム（GGF）が結成された。このグローバルグリッドフォーラムには、日本から運営委員会に2名、外部諮問委員会に1名が参加しており、日本のプレゼンスを示している。

GGFの標準化の進め方は、イン

図表3 Global Grid Forumにおける活動グループ一覧

Area	Working Groups	Research Groups
Applications and Programming Environments		<ul style="list-style-type: none"> ● Advanced Collaborative Environments (ACE-RG) ● Advanced Programming Models (APM-RG) ● Applications and Test Beds (APPS-RG) ● Grid Computing Environments (GCE-RG) ● Grid User Services (GUS-RG)
Architecture	<ul style="list-style-type: none"> ● Open Grid Service Infrastructure (OGSI) ● Open Source Software (OSS) ● New Productivity Initiative (NPI) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Grid Protocol Architecture (GPA) ● Accounting Models (ACCT) ● Service Management Frameworks (JINI)
Data	<ul style="list-style-type: none"> ● GridFTP ● Data Access and Integration Services (DAIS) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Data Replication (REPL) ● Persistent Archives (PA) ● Grid High-Performance Networking
Information Systems and Performance	<ul style="list-style-type: none"> ● Discovery and Monitoring Event Description (DAMED) ● Network Measurement (NM) ● Proposed: Grid Information Retrieval (GIR) ● Proposed: CIM based Grid Schema 	<ul style="list-style-type: none"> ● Relational Grid Information Services (RGIS) ● Grid Benchmarking (GB)
Peer-to-Peer	<ul style="list-style-type: none"> ● NAT/Firewall ● Taxonomy/Nomenclature ● P2P Security ● File Services ● Instant Messaging Interoperability 	
Scheduling and Resource Management	<ul style="list-style-type: none"> ● Grid Resource Allocation Agreement Protocol (GRAAP) ● Management Application API Working Group (DRMAA) ● Scheduling Dictionary (DICT) ● Scheduler Attributes (SA) 	
Security	<ul style="list-style-type: none"> ● Grid Security Infrastructure (GSI) ● Grid Certificate Policy (GCP) ● Open Grid Service Architecture Security (OGSA-SEC) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Kerberos

出典：グローバルグリッドフォーラムホームページ http://www.gridforum.org/L_WG/wg.htm

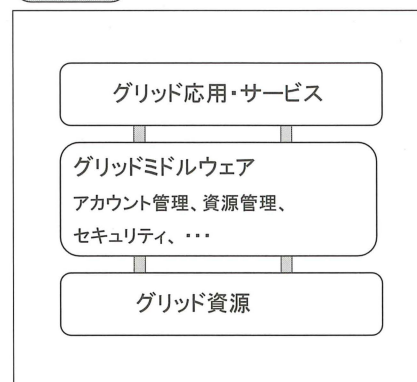
ターネットの標準化を進めている IETF (Internet Engineering Task Force) と同じ方式をとっている。すなわち、個別技術ごとに研究グループまたはワーキンググループが作られ、目的、目標を明確にして議論を進め、その使命が終了すれば解散する。現在、GGF には図表 3 に示すように、7つの領域に 21 のワーキンググループと 14 の研究グループがある。年 3 回の全体会議の他に個別会議、E-Mail による意見交換などにより議論を進めており、標準化の議論の進展は早い。この活動に海外からついて行くにはかなりの労力を必要とする。この GGF の標準化は強制力がある標準 de jure とはならないが、事実上の業界標準 de facto に

なっている。

現在まで、グリッド技術標準化の中心は、図表 4 に示すような共通横断的なグリッドミドルウェアにあり、上位の応用・サービスや下位のグリッド資源とのインターフェースの制定における覇権競争である。グリッド技術は広範囲にわたっており、単独のソフトウェアパッケージや、また、新たなミドルウェアパッケージによる支配は不可能である。従って、日本の独自性または一企業の独自性を出して標準化の覇権を取ることは不可能で、国際協力の中で相補的役割を担い、優位性のある技術を創出しながら作り上げていく標準化である。

今年 6 月には、日本においてグリッド協議会が設立され、グリッ

図表 4 グリッドシステムの階層



ド技術開発や標準化の動向調査、標準化への取りまとめ、グリッド技術の普及、情報交換等が進められることになった。インターネットソフトウェアでは、一般に標準化から開発、製品化は非常に時間が短い。標準化動向には十分注意する必要がある。

8. グリッド技術の課題

現在は、Globus Toolkitを始めとするミドルウェアが提供されるようになり、多くのプロジェクトで、グリッドの構築や構築されたグリッド上の応用開発が行われている。しかし、簡単にシステムを作れるほどまだソフトウェアは整備されていないのが現状である。また、現在のグリッド技術にはいろいろな制約があり、この解決に向けて研究が進められている。

その研究テーマとしては、組織を跨がるセキュリティ、運用ポリシーの整合、課金処理、故障時の対応、QoS (Quality of Service) による優先的通信路確保、動的資源配分・管理、大規模データ処理などがある。より具体的には、組織を外部進入者より守る Firewall と他組織に進入しなければならないグリッドにおけるセキュリティ制御、QoS制御により広帯域の通

信路を確保しなければならない大規模データ転送、ネットワーク上の資源を常時モニタリングする動的資源管理、組織ごとに異なるコンピュータ運用ポリシーとグリッドユーザーに対する運用ポリシーとの整合、組織外メンバーに対する課金処理などが課題であり、これらは、今後 3～5 年のテーマとして考えられている。

9. 国内外のメーカーの最近動向

グリッドの構築には、ハードウェアとして高性能コンピュータと高速ネットワークが必要である。米国では、グリッド技術開発には、高性能コンピュータを持っている IBM、Sun、HP (旧コンパックを含む) が積極的であり、グリッドミドルウェアにはマイクロソフトも注目している。

IBM は、2002 年 3 月に、グリッドミドルウェアに Web サービスの標準を取り入れることを提案し、GGF にて承認された。これが

実現されれば、電子商取引などとの親和性が高まるため、急速にグリッドのビジネス展開へ期待が高まっている。このように IBM は高性能コンピュータのハードウェアを販売するだけではなく積極的にグリッドミドルウェアを開発しその普及に力を入れている。

欧州にはコンピュータメーカーはなく、欧州におけるグリッド構築のためのハードウェアは米国コンピュータメーカー製であり、グリッドの応用開発も共同で進めて

いる。

日本を除くアジアでもグリッド構築が盛んに進められている。最近の PC クラスタや高性能計算サーバーの性能は飛躍的に向上しているため、米国製のコンピュータを持ち込み比較的容易にグリッドの構築ができています。

一方、日本のコンピュータメーカーはグリッド開発では米国のコンピュータメーカーに比較し出遅れており、現在キャッチアップに懸命である。

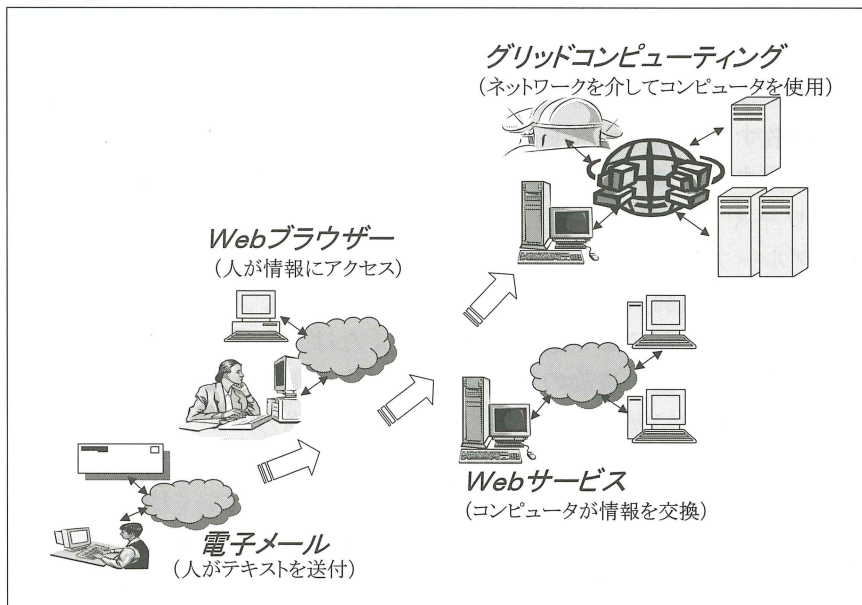
10. グリッド技術の位置づけ

グリッド技術はインターネット利用技術の一つであるが、過去のインターネット技術の流れから見ると大きく発展していく素地を持っていると考えられる。その流れを図表5に示す。

インターネット利用は、ネットワークを介してメールをやりとりする電子メールから始まった。遠隔地の情報を見るためWebブラウザが作られ、その利便さから爆発的に世界中に広まった。この普及は、Webブラウザが、端末のハードやOSによらず情報を閲覧できることにあった。インターネットの普及とそのネットワークの信頼性向上によって、企業の業務でもインターネットが使われるようになってきている。

さらに、人間が情報を閲覧するだけでなく、コンピュータ同士が情報交換することによってより広範に自動的に情報検索・交換を可能にするWebサービスが登場している。従来、コンピュータ同士のデータ交換（EDI：Electric

図表5 インターネット利用の発展



Data Interchange) は、個別の規約に従って行われていたが、Webサービスは、このデータ交換をオープンなインターネット上で行うことを可能とする。これによって安全な電子商取引、企業間取引などが広く普及していくと見られている。

グリッドは、Webサービスをさ

らに発展させたものとして捉えることができる。Webサービスではインターネット上にあるデータや情報にアクセスしていたが、グリッドは、インターネット上にあるコンピュータやデータや実験装置など計算資源にアクセスし使用することを可能とするものである。

11. グリッドの将来と今後の課題

(1)グリッドの重要性

グリッド技術は、ネットワーク上の計算資源を一つのコンピュータのように見せ、使い勝手を向上させる技術であり、次世代インターネット利用の中核技術として期待されている。また、グリッドは、高価なコンピュータ、大規模データ、有用な解析プログラム、高価な実験装置を遠隔地から利用することを可能にすることから、研究分野での有用な研究基盤を提供する。具体的には、高エネルギー物理、宇宙科学など巨大科学においては、巨大コンピュータ、高価な

実験装置、遠隔地の設備などの共同利用によって研究効率向上が可能になる。また、ITとバイオ、ナノとの融合研究領域においては、データ、解析プログラムの共同開発、共同利用が可能となり、共同研究が活発化する。グリッドは基礎研究分野の研究基盤として必要不可欠のものとなるであろう。さらには、研究スタイルをも変えてしまうポテンシャルがある。

このようなグリッドは共同研究を活性化していく力を持っている。複数の異なる専門分野に跨る境界領域にて共同研究を活性化すれば、新しい研究分野が誕生する可能性がある。従来、日本では、

専門分野に閉じた自己完結型の研究が多く、複数の専門分野を集め開拓していく水平統合型の研究は研究組織の壁などもあって活発ではなかった。このような共同研究を活発化するためにもグリッド構築は重要である。

(2)グリッド技術の発展に向けて

グリッドの概念は米国で生まれ、米国中心に発展してきている。欧州はコンピュータメーカーを持っていないことから米国の高性能コンピュータを導入し、米国の研究機関と協力してグリッド応用開

発を積極的に進めている。一方、日本は、幸いにもグリッド技術の研究蓄積があり、産業としてコンピュータメーカーを持っている。グリッドプロジェクトにおいて、大学、国立研究所、メーカーが協力して特長のある技術を創っていくことが可能である。ただ、昨年の米国の同時多発テロ以降、米国では、ホームランドセキュリティ強化が検討されており、グリッドにおいてもセキュリティには十分配慮した技術開発が必要である。

グリッド技術はインターネット利用のソフトウェアであり、標準化が重要である。この標準化では、一社または一国が独自性を出して覇権を取るのではなく、国際協力の中で優位性のある技術を創出しながら作り上げていく標準化であ

る。もちろん、優れた日本発技術を持たなければ標準化技術として取り上げられない。優れた技術を多く持ちグリッド技術の標準化に貢献していくことが、次世代インターネット利用技術の中で日本の技術力を示すことになる。グリッドプロジェクトによるグリッド技術開発を、米国が主流のインターネットの世界に日本の技術を売り込むチャンスとすべきであろう。

謝 辞

本稿をまとめるに当たり、産業技術総合研究所関口智嗣グリッド技術センター長、東京工業大学学術国際情報センター松岡聡教授、大阪大学サイバーメディアセンター下條真司教授から、グリッド技術動向に関して貴重なご意見を頂

きました。ここに深く感謝いたします。また、本文中では、大変失礼ながら、敬称を省略させて頂きました。

参考文献

- 1) C. Catlett and L. Smarr, "Meta-computing," Communications of the ACM, Vol35, No.6, pp44-52, June 1992
- 2) C. Kasselmann, I. Foster, "Globus: Around the World and onto Your Desktop", enVision, Vol 14.3, NPCI External Relations
- 3) The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure, Ian Foster and C. Kesselmann, ed., Morgan Kaufmann, July 1998

.....

特集③

MEMS研究の新展開



材料・製造技術ユニット 奥和田久美

1. はじめに

MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) とは、半導体デバイスの開発で蓄積されたシリコンウエハの加工技術を用いて作製された、可動部を含む微小機械システムを指す。

MEMS先進国である欧米に加えて、最近、台湾やシンガポールなどのアジア各国においても国家支援のもとでMEMS技術を産業

の新しい柱のひとつにしようという気運が高まっている。MEMS研究の対象は、すでに機械部品にとどまらず、医療・バイオ関連技術やエネルギー蓄積技術など幅広い応用分野に発展している^{1~4)}。MEMS技術で作製される製品は基本的に多品種少量生産の性格を持ち、ベンチャービジネスを含む産業活性を促す効果を期待でき

る。しかし、海外では、日本のお家芸といわれる部品産業の将来を脅かすMEMS技術にも力を入れはじめており、静観はできない状況にある。

本報告では、MEMS研究の歴史と研究の要点を辿りながら、日本における研究体制整備の現状の問題点を明らかにしたい。

2. MEMS とは何か

2-1

代表的な MEMS 部品

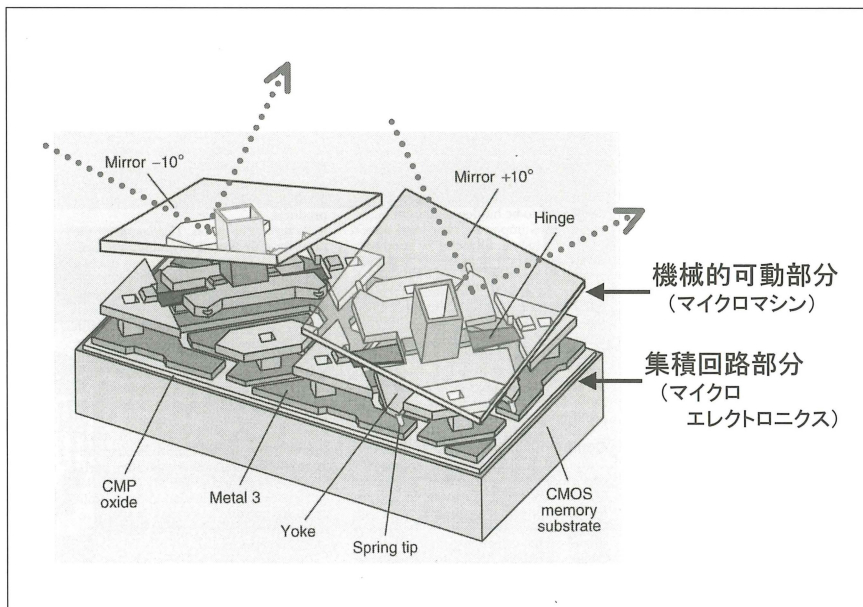
MEMSの代表例に、デジタルマイクロミラーデバイス(DMDTM)がある(図表1)^{1~4)}。これは、半導体デバイスと同じような集積回路系の上部に、16 μm 角のアルミニウム製の鏡を100万个以上配列したもの(アレイ)で、各々の鏡は応答速度1 μs で ± 10 度の角度に回転する。すなわち、マイクロエレクトロニクス技術の上に、マイクロマシン技術が乗った形をしている。しかも、半導体加工技術を用いて作製されるため、1枚のシリコンウエハ上に1度に多くのチップ部品を作製できることが利点である。

また、このDMDアレイと同じようなディスプレイを目指したMEMS部品にGLV (Glating

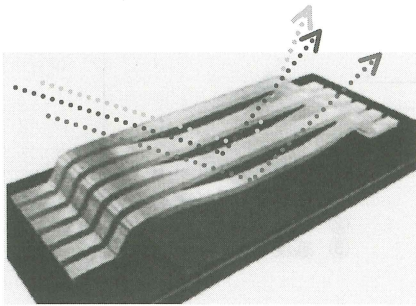
Light Valve) がある(図表2)⁵⁾。これは、窒化物にアルミニウムをコーティングしたリボン(3 μm 幅 \times 100 μm 長) 6本をひとつのセットとし、1080画素分並べたも

ので、集積回路系から受ける電圧で交互にへこむ動作によってレーザー光を反射させる。DMDアレイより1000倍高速動作できると言う。この部品も半導体加工技術

図表1 電圧によって鏡が回転する光学素子
Digital Micro Miller Device (DMDTM)¹⁾



図表2 電圧によって交互にリボンがへこむ光学素子
Glating Light Valve
(GLV) ⁵⁾



を用いて作製される。

このような光学部品に限らず、MEMS研究は、現在は極めて広い分野に及んでいる(図表3) ⁶⁾。

2 - 2

MEMSの定義と歴史的背景

MEMSは主に米国で使われてきた呼称であり、欧州ではMST (Micro System Technology)、我が国ではマイクロマシンと呼ばれてきた⁷⁾。MEMSの定義は人に依ってかなり異なっており、現在でもどこまでをMEMS技術の範疇とするかは議論のあるところである。

MEMSの研究は、1970年頃に米国スタンフォード大学の電気工学科で始まったと言われている。当時はさほど微小ではないものの、シリコンウエハ上に圧力センサやガスクロマトグラフを作製した研究結果が発表された。後者はNASA (米国航空宇宙局) の委託による研究開発であり、宇宙船搭載用に小型化することが目的であった。1980年代後半に入ると、カリフォルニア大学バークレー校、ベル研究所などで、当時進展の目

図表3 MEMSの応用 (下線は特に有効な分野)

情報・通信

- ・記録印刷関係: インクジェットプリンタヘッド, 他
- ・光関係: 光スイッチ, ディスプレイ (DMD, FED 他), 光スキャナ, 光変調器, 光コネクタ, 可変波長フィルタ・スペクトロメータ (環境計測他), 可変焦点レンズ・鏡, レンズアレイ, 可変波長レザ, 光検出器, 自由空間型光集積システム, マイクロエンコーダ, 光ファイバ先端センサ, 他
- ・電子部品関係: 高周波関係 (共振子, 可変コンデンサ, インダクタ, サブミリ波帯共振子, アレイアンテナ他), マイクロ磁気デバイス (マイクロトランス他), マイクロリレー, コネクタなど実装関係, 他
- ・情報記録関係: 記録ヘッド (磁気・光・光磁気・熱他), トラッキング用アクチュエータ, 他

自動車・民生・環境

- ・慣性計測関係: 加速度センサ (エアバッグなどの車載用, ベースメーカー, ゲーム, 地震計, 他), ジャイロ (プレーキシステムなどの車載用, カメラ手振れ防止, 運動制御, 他)
- ・圧力計測関係: 圧力センサ (自動車用, 医療用, 産業用, 他)
- ・その他各種センサ: 熱型赤外線イメージャ他熱型センサ, マイクロフォン, 超音波トランスデューサ, 環境センシング, 赤外線ガスセンサ, 空間位置認識センサ, 個人識別センサ (指紋, 他), 他

医学・バイオ

- ・生化学関係: オンチップ生化学分析 (DNA チップ, 細管電気泳動, 他), オンチップ粒子分析 (フローサイトメータ, 他), マイクロリアクタ (試薬合成など), バイオテクノロジー関係ツール (細胞融合他), 他
- ・医療関係: 低侵襲医療 (カテーテル, 内視鏡, ドラッグデリバリー, 他), 体内埋込機器 (人工内耳, テレメータ, 他), 生体とのインタフェース (電極, 採取注入プローブ), 他

製造・検査

- ・微量流体関係: マイクロバルブ・ポンプ, フローセンサ・コントローラ, 他
- ・マイクロプローブ関係: 走査型プローブ顕微鏡 (AFM, SNOM, 他), マイクロプローバ他
- ・局所熱制御関係: マイクロヒータ, マイクロヒータ, マイクロカロリメトリ, 熱型アクチュエータ, 他
- ・省エネルギー・省資源関係: メンテナンスツール, 能動的流体制御, マイクロファクトリ, 宇宙関係 (マイクロスラスタ, マイクロ化宇宙船・人工衛星, 宇宙実験装置), 他
- ・マイクロ構造体: X線露光用マスク, X線コリメータ, シェードマスク, 電子・粒子線源, 電子・イオンビーム制御, チャンネルプレート, マイクロツール, マイクロタービン, インジェクションノズル, 他
- ・マイクロモータ・アクチュエータ: 静電, 電磁, 圧電, 他
- ・マイクロエネルギー源: マイクロ燃料電池, マイクロエンジン発電機, 他

(東北大学江刺教授のまとめに拠る) ⁶⁾

覚しかった半導体加工技術を応用して「微小な可動部を含むシステム」、すなわち、マイクロマシン・マイクロエレクトロニクス・センサなどを組み合わせることによって新しいコンセプトを生み出すという研究が活発化し、これらを総括する形でMEMSと呼ばれるようになった。1992年からは、DARPA (米国防省高等研究計算局) 支援のMEMSプログラムが開始された⁸⁾。初期の支援プログラムにおいて最も成功した例として、前項で述べたテキサスインスツルメンツ社開発のDMDTM素子がある(図表1) ⁹⁾。鏡は非常に強い光でも反射させることができ、液晶ディスプレイでは表示できない大画面表示を小型装置で実現することができたため、DMD素子を用いた小型プロジェクターは、

一時、この製品分野を独占した。

一方、我が国においては、1985年頃から半導体加工技術を用いた超小型モーターに代表されるマイクロマシン技術が注目を浴び、旧通商産業省工業技術院は産業科学技術研究開発制度の下に1991年度から10年計画の大型プロジェクトをスタートさせた。本プロジェクト成果として(財)マイクロマシンセンターから発表されているテーマは、管内自走環境認識用試作システム、細管群外部検査用試作システム、機器内部作業用試作システム、マイクロファクトリ試作システムの4つであり、いずれもmm単位の微小機械である¹⁰⁾。これらの中にそのまま商業化されたものは無いが、各システムに使われた要素技術はその後にも工業的に発展している。

3. MEMS研究開発の要点

3 - 1

MEMS研究開発の特徴

MEMS研究開発の特徴として、

研究結果が極めて商業的な製品に近い形になる点が挙げられる。また、研究がたとえ教育の現場で行われたとしても、純粋に科学的な問題を解決する能力だけではな

く、ベンチャービジネスを立ち上げるかのような覚悟が求められる点も大きな特徴であろう。MEMS研究開発は基本的に、発想・設計・具現化(試作)の3段階から

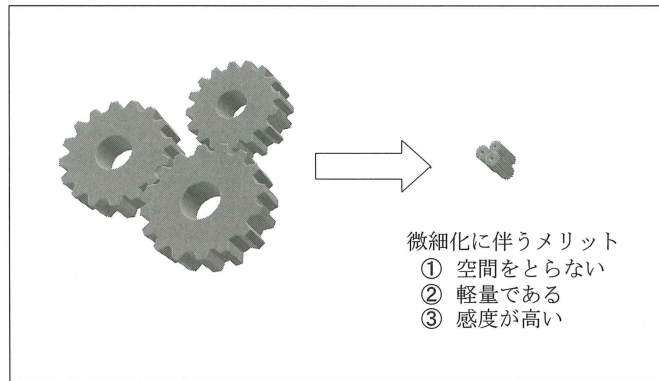
成るが、その全段階をクリアしなければ研究目的を達成し得ない。以下に、その各研究段階の要点を述べたい。

3 - 2

発想の段階

研究者はまず、「どのような可動部を微細化すると、どのようなシステムが出来上がるだろうか」という議論から始めなければならない。そもそもマイクロマシンとは、「人間サイズのマシンがシリコンチップサイズになった場合、何が出来るだろうか」「人間が日常操作している機械を昆虫サイズに縮小した場合に、何が出来るだろうか」という発想から端を発した研究分野とも言える。バイオ関連のMEMSに関する講演では、1960年代後半に上映された映画「ミクロの決死圏」が必ず紹介される。また、センサの究極の目的とは「生体内の各機能をシリコンチップ上で実現すること」にあるとも言われる。生体のシステムを等価回路に置き換えて考えることは、特に興味深い議論である。したがって、研究者はMEMS研究を始める最初の段階で、機械工

図表4 MEMSの研究対象は、小さく作ることに意味があるもの



学・生物学はもちろんのこと、時としてエネルギー問題や社会問題までも議論する必要が生じる。

当然ながら、MEMSでは「小さく作ることに意味があるもの」が良い研究対象と言える（図表4）。微細化には、

- (1)空間をとらない
- (2)軽量である
- (3)感度が高い

という3つの大きな利点に伴い、狭い機械的空間や生体内といった限られた空間に電気機械システムを配置あるいは移動することができる。その結果、

- (1)電気・光・熱等のエネルギー

を微小な機械的変位や高速運動に変換できる

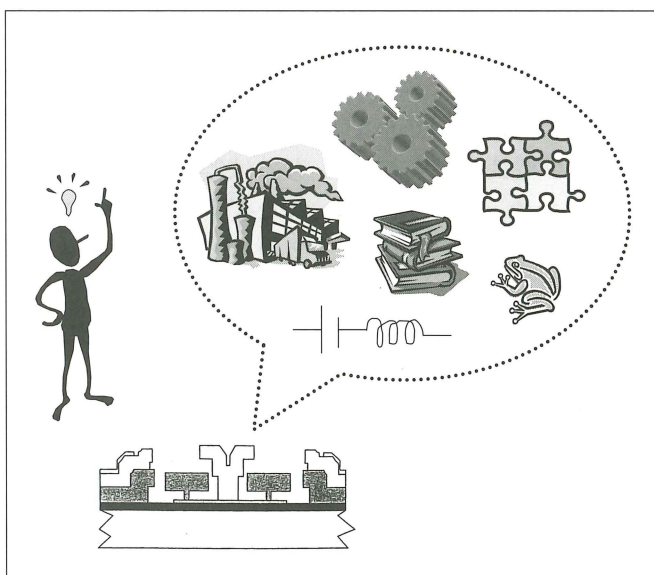
- (2)低消費電力を狙える
- (3)複数の機能を集積化できる
- (4)極めて少ない材料資源で製造できる

といった効果を期待できる⁴⁾。また、半導体デバイス製造プロセスにおいてはシリコン単結晶の機械的強度はほとんど議論にされないが、実は機械的に極めて良好な素材であり、バルクでは望めない単結晶シリコンの機械的特性をマイクロマシンでは用いることができる。

これらの利点をどのようなシステムで生かすか、どれだけ柔軟な発想ができるかが新システム構想の鍵である（図表5）。生物の多様性を見ればわかるように、あるひとつの問題を解決するシステムは必ずしもひとつではない。

また、異分野技術の集積化、すなわち、機械的部分と電気回路部分さらに化学反応部分を1チップの上で実現することは、場合によっては単一機能をより小さくすることよりも意味がある。この場合、ひとつの機能が他の機能よりはるかに優れていても無駄であり、ましてや劣っていると全体性能を律速してしまう。これはシステム全体の高速化・高感度化等を考える上で極めて重要である。

図表5 種々のシステムを半導体加工技術を用いてシリコンウエハ上に実現



3 - 3

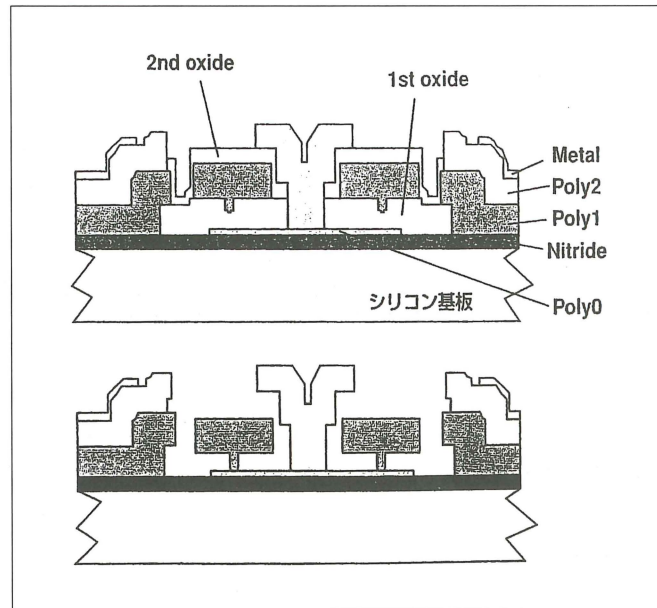
設計の段階

研究対象が発想できたところで、次の段階には総合的設計技術が必要である。具体的には、力学計算から始まって電気回路設計およびシリコン加工プロセス設計に至る総合的な設計力とそのシミュレーション手法が必要となる。最近では日本においても、市販のMEMS用設計ツールが利用可能であり¹¹⁾、また、学会活動として設計を指導するシステムもある¹²⁾。ただし、総合的な設計能力はやはり経験によって養われるものである。

力学計算の際には、人間のオーダーと比較して4～7桁も小さいサイズの設計として、以下の点を十分に考慮に入れなければならないが、それらを最大限に引き出す設計ができるならば大きな効果を期待できる⁴⁾。

- (1) 静電気力が大きいこと：重量に対して相対的に表面積の大きいマイクロシステムでは、利用できるエネルギーの蓄積形態が異なる。一例を挙げると、我々の日常空間では電磁モーターが数多く使われているが、マイクロアクチュエータではエネルギー蓄積能力の点から静電モーターが有利となる。
- (2) 熱的時定数が小さいこと：マイクロシステムでは熱に対する感度が極めて高い。これを利用すれば、熱応力や局所的な熱変化を高速で発生させることができる。
- (3) 分子間あるいは原子間の相互作用を無視できないこと：地球の重力加速度よりも原子間吸引力（ファンデルワールス力）のほうが支配的になる。
- (4) 高感度であること：圧電性、

図表6 厚い成膜技術・深いエッチング技術などを用いた3次元形状の形成²⁾



結晶の相変化、溶液中の化学反応などの比較的小さい物理的・化学的性質も機械変位に変換して利用できる。

設計の段階においても、ひとつの目的に対して複数の回答が有り得る。例えば、製品化されたMEMS部品として代表的なものにインクジェットプリンタのヘッドがあり、いくつかの製品が完成しているが、いずれも0.5～10mWのエネルギーで数 μ 秒のインターバルにおいて、10～30 μ mというサイズのインク粒子を5～20m/secの高速で吐出し、そのサイズは1ドットに対し0.2mm²以下の機構である。それらの動作原理としては、静電気力を用いた静電駆動型ヘッド、熱応答性を用いたバブルジェット型ヘッド、圧電性を用いた圧電型ヘッドがあり、いずれの機構においても高解像度の画像が得られている^{1～4)}。

多くのMEMS製品が半導体製造分野で培われた加工技術を基にはするものの、その製造プロセスが、いわゆる半導体集積回路技術と大きく異なる点は、三次元的な形状を実現しようとする部分である。集積回路技術では薄膜をリソ

グラフィ（写真印刷法を基本とする加工技術）でパターンニングして積み重ねていき、言わば二次元的な技術を三次元にしていくのに対し、MEMS技術では高アスペクト比（縦横比）の加工を行ない、三次元的でしかも動作可能な部位を作製しようとする。これには、集積回路技術が微細化の発展上切り捨ててきた技術、例えば、より厚い膜を成膜する技術、薬品を用いて等方的にエッチングする技術等を復活させる必要があり、この用途に合った装置が必要となる（図表6）。また、シリコンチップ上に有機物を積層したり、化学物質を流す機構を設けるなど、不純物混入を極端に嫌う集積回路技術とは異質の材料やプロセスも受け入れる必要がある。昨今、MEMS研究開発に世代落ちの半導体工場を充てようとする動きもあるが、多少の新投資と、なによりも融通性を持った開発姿勢無しには成功は望めない。

3 - 4

具現化（試作）の段階

設計が済むと、いよいよ試作の段階である。MEMS技術は、試

作が成功すれば、かなりの確率でそのまま工業的製品に成り得る可能性があり、また、試作ラインがそのまま量産ラインとして使える場合も多い。したがって、MEMS研究開発は、産学協同研究として取り上げるのに適したテーマであると言える。また一般に、ハード

ウェアにかかわる研究開発はソフトウェア分野に比べて大きな初期投資が必要であり、量産はさらにハードルが高いため、ベンチャービジネスを起こしにくい現実がある。しかし、MEMS研究開発は、試作結果がベンチャービジネス立ち上げへ直結する可能性を有して

いる。欧米での研究例の多くは、この段階を外部へ委託しており、日本における研究開発においても、試作ラインを持たない研究機関は共同運用設備の整った幾つかの大学施設や民間のファウンドリ（受託生産）工場の利用が効率的と考えられる。

4. 今後の発展を期待される MEMS 分野

4 - 1

センサおよび光 MEMS

日本が技術的に進んでいると言われるマイクロセンサ分野の研究開発は、今後も民間企業内あるいは企業間の連携を有効に進めることで、引き続き日本が諸外国に対し優位を保つことが可能な分野である¹³⁾。光学分野の MEMS は、特に光 MEMS (MOEMS) と呼ばれている。従来からの光センサ・ディスプレイ用素子の開発に加え、光通信用スイッチが注目されており、企業を中心に今後も多くの研究開発が行われるであろう。

しかし、これらの分野はむしろ例外的であって、以下のその他の領域では特に試作を実現することが難しい状況にある。

4 - 2

医療・バイオ MEMS

医療・バイオ MEMS 分野は、ひとつひとつの製品としては市場規模が小さく、難しいシリコン加工技術を必要としない場合も多い。このため、MEMS 研究体制整備の未発達な現在の日本でも、大学等公的機関の小さな設備を利用して、短期間に少量生産まで到達できる可能性があり、最もベンチャー起業が育ちやすい分野と考えられる。米国の MEMS 研究開発では、民間企業による大学施設の利用が日常的に行われているのに

対し、今までの日本にはこのような研究開発形態が少なかった。日本における産学連携は、企業が寄付をすることで大学へ研究委託する形での共同研究が多く、量産段階は企業で行なうという常識があったためである。民間企業が大学等の公的研究機関の設備を利用することは、スピニン (Spin-in) と呼ばれるそうであるが、医療・バイオ MEMS 分野では、特に多品種少量生産になる傾向があるため、生産段階まで含めてスピニンの利用が有効であろう。

4 - 3

RF-MEMS

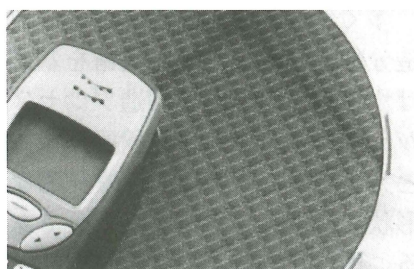
一方、集積化というキーワードが最も端的に実現され、市場の大きさがあり、また、半導体製造技術の蓄積が最も有効に使える可能性をもつのが RF-MEMS (通信デバイス用高周波 MEMS) の領域である (図表 7)。

現在、国内の半導体産業は構造不況に突入したと言われ、メモリ一辺倒であった戦略から、コンデ

ンサや抵抗部品といった受動素子までもシリコンチップ内に組み入れたシステム LSI と呼ばれる製品群の開発へ一斉に転換中である。1 チップに混載することで配線長が短くなり、高周波域で Q 値という高速化のファクター向上が期待できる。このような混載の発想は、SoC (System on Chip) と呼ばれる。RF-MEMS は、さらに共振器等の可動部分や電源部分までも 1 チップあるいは 1 パッケージに組み入れようとするものであり¹⁴⁾、SoC の次世代の姿とも言える³⁾。可動部分も含めて 1 チップ上にすることは、加工の複雑化、工程数の増加、プロセスコンタミネーション (不純物汚染) 等の問題が生じるため、工業的には必ずしも採算のとれる技術とは言えないが、初期の段階では、MEMS 部品を SoC と張り合わせたり、複数を 1 パッケージ内に同時に入れてパッケージングすることが有効と考えられ、この場合は、SoC ではなく、SiP (System in Package) と呼ばれることになる。

RF-MEMS は、実現が容易な段階にまだ達していないものの、市場規模が大きいため、すでに台湾ファウンドリが注目している分野である。もし生産可能になれば、個別部品の一部を不要にする可能性を含んでおり、日本のお家芸と言われる部品産業の次の大きな曲がり角になりうる。また、次のターゲットをシステム LSI 分野としている日本の半導体産業は、シス

図表 7 シリコンウェハ上に並んだ MEMS チップ¹⁾



テムLSIの延長上にあるRF-MEMS領域に、特許活動等を含め早急に目を向けなければ、この市場でも国際競争力を失う危険がある。

4-4

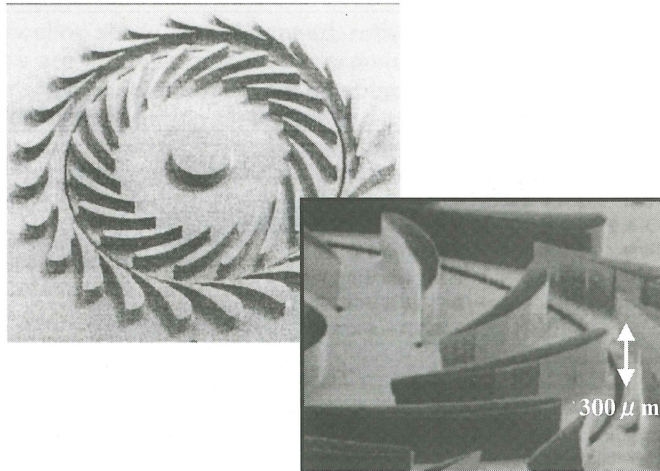
パワーMEMS

マイクロパワー源に関する研究にも国際的に関心が高まっている。この分野の研究を一堂に会するワークショップ「Power MEMS2002」が2002年11月12～13日につくば国際会議場で開催される予定であるが、そのトピックスは、小型燃焼発電機、小型燃料電池、小型燃料改質器、熱電変換などである¹⁵⁾。

小型燃焼発電機(図表8)は、マサチューセッツ工科大学で考案されたもので¹⁶⁾、シリコンを深いエッチング(Reactive Ion Etching)加工技術で μm 単位のタービンブレードとし、100万回転/分以上の高速回転をさせて発電しようとするガスタービンである。

マイクロ燃料電池は、現在、携帯機器用に検討されている小型燃料電池をさらにマイクロレベルま

図表8 マイクロタービン¹⁶⁾



で微細化するという位置付けにある。効率的に数%にすぎないリチウム二次電池を置き換えることは、達成可能と考えられている。MEMS技術を用いた超小型電池を用いて、現状の電池より長時間化が達成できれば、携帯電話でインターネットを常時接続で利用することも可能になるため、市場の期待は大きい。また、携帯可能なドリルや鋸といった機械加工器具はこれまで電池ではパワー不足であったが、カートリッジに入ったガソリンを使うMEMSエンジンで実現しようとする試みもある¹⁷⁾。

耐熱性の厳しいこれらの用途には、シリコンの代わりに炭化珪素(SiC)を用いたり、SiCの表面コーティングを施す工夫が用いられる。また、携帯機器応用では、コンビニエンスストアでライターのような燃料カートリッジを買い、手軽に交換できるようにする、という新製品コンセプトがある。

パワーMEMS領域もまだハードルの高いターゲットとは言えるが、市場性のみならず社会的インパクトも大きく、最も期待されている分野である。

5. 海外における現在のMEMS開発環境

5-1

米国におけるMEMS開発環境^{8), 18)}

米国は、1992年から国策として、DARPA(米国防省高等研究計算局)のMEMSプログラムが開始されており、進行中の各プロジェクトの概要や責任者のビジョンはWebサイト上で公開されている。また、研究された成果は、公的機関のほか民間へも普及する仕組みができあがっている。

非営利組織からMEMS試作ファウンドリとして独立した企業としてCronos社(現JDS Uniphase

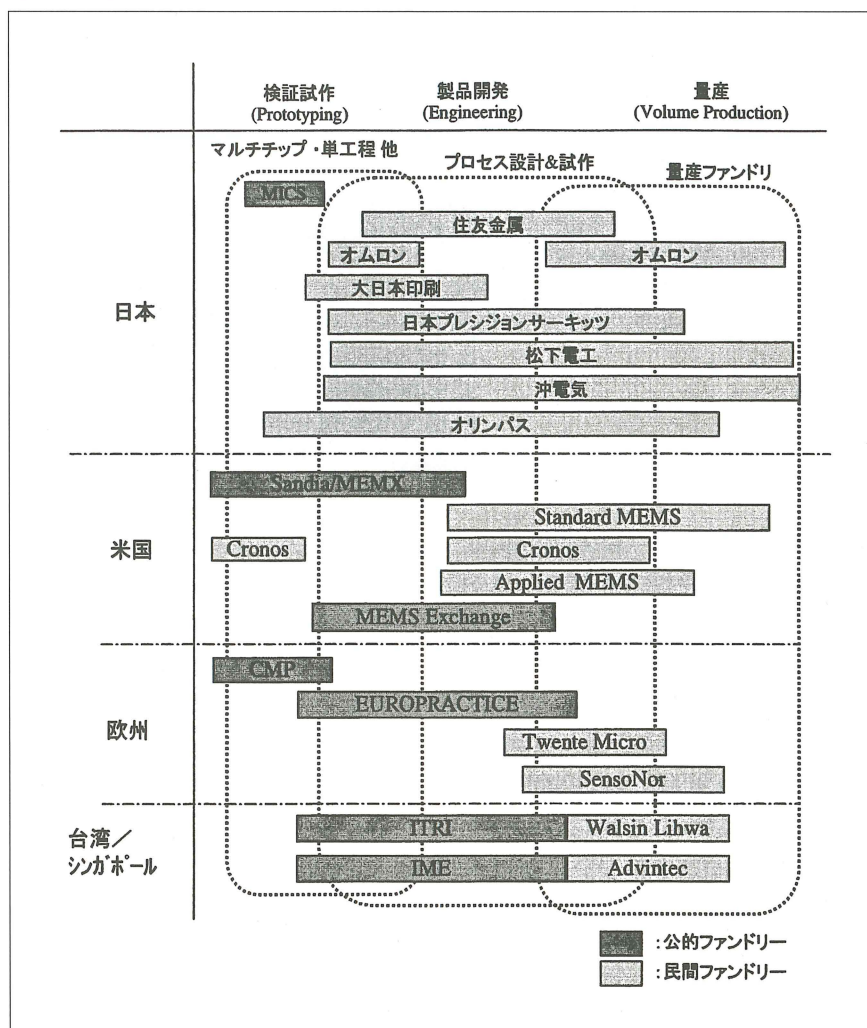
社)が知られ、現在は海外からの発注も可能になっている。費用は約60万円で15チップが約11週間で試作できるとのことである。また、1998年に米国内の数多くのMEMS研究拠点をつなぐネットワークシステムMEMS Exchangeができあがり、米国内のMEMS活性促進に寄与している(図表9)。これは、ネット管理上に存在するVirtualなファブのひとつと言える。ただし、今のところ、米国内の利用に限られている。

また、商務省に属するNIST(米国標準技術局)のATP(Advanced Technology Project)は、DARPAより産業政策色の強

いプロジェクトであり、この中にもMEMSによるセンサやディスプレイの研究開発テーマが挙げられている。

米国では、大学と外部の連携が非常に強い。4-2項で述べたスピンインによる試作があたりまえのことになっている。大学設備の設置に関しても、国家基金のほか民間企業がスポンサーになる例も多く見られる。また、量産を考慮に入れた試作が特徴で、大学のMEMS設備でもウエハサイズは実用的な6インチまで対応しているところが多い。

図表9 各国のMEMSファウンドリ



（財）マイクロマシンセンターに拠る）¹⁸⁾

5 - 2

欧州におけるMEMS開発環境^{18, 19)}

米国に遅れてMEMSプログラムを開始した欧州は、規模では及ばないものの米国のやり方を学んでおり、欧州サイズに見合ったネットワークの充実とオープンなファウンドリ体制が特徴となっている（図表9）。これらも自然発生

的なものではなく、仏LETI（電子技術情報研究所：Electronics and Information Technology Laboratory）などが中心となり、EU各国がひとつのネットワークとして機能するように仕組まれている。代表的なMEMSネットワークとしてNEXUS、MEMS専用ファウンドリとしてEUROPRACTICEがあり、誰でもこれらを使って試作ができる。EUROPRACTICEは、試作費用もユーザー負担は約

1/3のみで、Local governmentが約1/3、EU全体で約1/3を負担する。世界中から発注可能なことも特徴であり、日本の大学が欧州のファウンドリを利用している例もある。

5 - 3

アジアにおけるMEMS開発環境^{18, 20)}

MEMS分野も他の産業と同じように、欧米とアジア間の技術者の交流が盛んであり、それがアジア各国のレベルを上げている。特に台湾およびシンガポールでは国家的施策として力を入れており、試作の段階までは国の研究機関が行ない、量産段階は民間ファウンドリが受け持つという明確な役割分担ができている。台湾では、ITRI（工業技術研究院：Industrial Technology Research Institute of Taiwan）に共同試作設備（Common Laboratory）が設置されており、Walsin Lihwa Corp.などの民間ファウンドリがその研究成果を引き継ぐ形で、多品種少量生産の実現を模索している（図表9）。MEMS製造工程は本質的に標準化しにくいいため、半導体ファウンドリのように急速に発展させるのは難しいと思われるが、半導体ファウンドリが中国の台頭に脅かされかねない状況で、将来の台湾内の産業空洞化を避ける対策として真剣に考えられている。特に注目されている製品分野は、4 - 3項のRF-MEMSである。

6. MEMSからNEMSへの進展

自然界では多くの現象がナノレベルの反応に拠っており、それらの仕組みを理解しようとするナノサイエンスが急速に発展している。近年、MEMS研究でも、それらの仕組みを機械的あるいは電

氣的に実現しようとする動きがみられ、また、ナノレベルでの加工技術も検討されている。これらの研究は、2000年頃からNEMS（Nano Electro-Mechanical Systems）と呼ばれている²¹⁾。例えば、化学

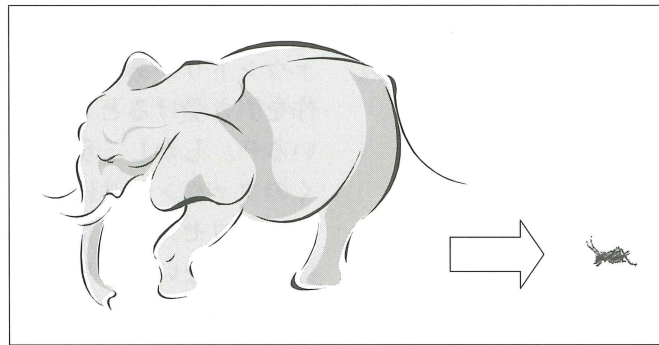
反応は表面積が大きいほど効率良く行なえるため、チップ上の細管は高効率な反応槽（リアクタ）を形成できると言われている。化学研究室で行なう実験を1チップの中で、自動的に行なえるようにし

ようとするアイデアを Lab. on a chip (Laboratory on a Chip) と言う。この分野のさきがけは、2 - 2 項で述べた1975年のガスクロマト試作にある。

人間サイズからすると MEMS と NEMS で大差があるようには感じられないが、実際には象と昆虫ほどのスケールの違いがある (図 10)。 μm から nm への 3 桁の小型化は、3 - 3 項で述べた各特徴が一段と高感度化することを意味する。すなわち、より高い共振周波数、高速の機械応答速度、低消費電力、低ノイズ、高速の熱応答を期待できる。しかし、高精度化が期待できる反面、表面の及ぼす影響がますます大きくなり、静電気力の支配がさらに大きくなることを計算に入れておかなければならない。つまり、環境から受ける表面状態の変化が無視できないほど大きい。

また、NEMS で MEMS と同程度の加工精度を求めることもできない。例えば、現時点のリソグラフィ技術では、 $100\ \mu\text{m}$ の線幅を $\pm 1\ \mu\text{m}$ の寸法誤差で形成することでさえ簡単ではなく、ましてや、 100nm の線幅では $\pm 10\text{nm}$ の寸法誤差も実現できない。つまり、

図表 10 マイクロとナノでは、象と昆虫ほどのサイズの違いがある



NEMS の加工精度は、MEMS より相対的に何十年も前の技術レベルまで退化することになる²²⁾。さらに、 10nm 以下になると量子的なゆらぎも無視できなくなる。

こういった意味で、今後全ての MEMS 研究が一方向的に NEMS 研究へ移行するということは考えられない。マイクロからナノへ微細化するという進化は、MEMS 研究の多様性の一方向にしかすぎない。MEMS 研究は本来、多様化することにより発展する技術であり、この点で、同じシリコン加工技術を用いながらも、微細化が至上命題であった半導体デバイス等の発展とは異なるはずである。生物の進化は数多くの失敗を恐れずに多様化してきた歴史であり、ある時点での最良解と思われる形態

へ統一しようとする試みは、生物の歴史上必ず失敗していることを忘れてはならない。例えば、低侵襲治療（血管内での治療など体を大きく切らない手術）などの医療器具、DNA チップなどのバイオ関連器具、マイクロリアクタなどの化学関連器具には、必ずしも半導体プロセスが必要ではなく、小さいことよりも安価であることに価値がある場合も少なくない。例えば、マイクロリアクタを作製するのに $100\ \mu\text{m}$ 程度の孔を作製するなら、シリコンプロセスを使わずとも可能である例も示されている²³⁾。シリコン加工技術が必要なものかどうかを含めて、システムを最適化設計する力が求められる。

7. 日本の MEMS 研究促進のために

7 - 1

日本における MEMS 発展の特異性に対する反省

一般には研究の質や進展が呼称に左右されるものではないのだろうが、MEMS 分野に限って言えば、これらを何と呼んできたかということが結果的に重要な意味合いを持っている。我が国では現在でさえも「MEMS = マイクロマシン」と言い換えられることが多いが、その呼び名の示すとおり、我が国におけるこれまでの研究は

マイクロロボットの開発に代表されるような微小な機械が主体であった。ところが、米国のナノテクノロジー分野を調査した報告書²⁴⁾ではマイクロマシン（微小機械）と MEMS とは指向の異なる分野として分類されており、日本はマイクロマシン分野では米国に比べて優位にあるが、MEMS 分野でははるかに遅れているとされている。実は、「微小な機械」という範疇で考えるか「微細なシステム」という定義で考えるかという相違点で、この15年間の MEMS 発展状況にかなり大きな影響を与えた

と言わざるを得ない。すなわち日本においては、マイクロマシン技術の発展は日本が世界に先行するロボット研究の進展と同調したのであって、その進歩はめざましいながら商業的・工業的には未だ発展途上の段階にある。マイクロセンサは当時の日本では、マイクロマシンとは別の範疇あるいはマイクロマシンの一部に使うものとして考えられたために、主に民間企業において部品事業として開発が進められ現在に至っている。皮肉なことに、センサは、MEMS 技術のなかでは日本が最も得意と言

われる分野に成長している。今後は、マイクロマシンもMEMSの構成要素のひとつと考えていくことが望ましく、より総合的な視点が求められるであろう。

7 - 2

システム工学の人材育成

3 - 3 項で述べたように、MEMS研究には、「システム全体を設計する力」を持つ人材が必要だが、日本においてはこのような人材が不足していると思われる。しかし、それ以前に、これまでの日本における工学系教育現場においては、3 - 2 項で述べたような「なにを研究したらよいか」という議論に多くの時間を割くことが軽視されがちであった。日本の産業界全体としても「どのように作るか (how)」に関する研究は得意だが、「なにを作るか (What)」の議論は苦手、という傾向が指摘されている¹³⁾。「どのように」から始まれば、全体を設計する力は求められないからである。今後、大学の果たすべき役割のひとつに、真の意味での「システム工学」専攻の学生を多く輩出することが挙げられよう。

7 - 3

受託試作の考え方

MEMS製品は、本質的に多品種少量生産⁶⁾であるため、「試作は高価でも、量産になれば安くなる」という従来の大量生産指向を根本から考え直し、試作の段階がすでに製品化を意識したものではない。しかしながら、現実には、既存の民間企業でさえ、ひとつの企業内で需要開拓から研究開発、製造まで閉じて行なえるところは少ない。

現在、日本において利用できる大学の共用施設の例として、東北大学ベンチャー・ビジネス・ラボ

ラトリーや立命館大学マイクロシステム技術研究センターがある。また、すでに10社以上の民間ファウンドリがあり、研究や少量試作を引き受けるところも出てきている²⁵⁾。しかし、現段階では、多くのファウンドリにおいて、ひとつのプロセスラインで望んだ試作は完結しない、シリコンウエハサイズの不一致で複数のプロセスラインをスルーして試作できない、といった問題点を抱えている。今後、ネットワーク作りなどによって改善されなければならない点である。したがって、現在は、新たなMEMSクリーンルームを建設するよりは、むしろ共用設備の有効利用が議論されるフェーズに移りつつあると考えられる。

日本のこれまでの大学教育では、Fab-lessで研究する、すなわち、自前の装置で試作しないことに抵抗感を持つ傾向がある。しかしながら、試作に必要なシリコン加工プロセスの全てを大学が自前で用意することは現実的ではなく、民間企業の開発現場においてさえも必ずしも経済的ではない。MEMS研究を「新システムの構築」と捉え、途中で試作段階を時間的にも経済的にも短縮することが、「システム工学」学習のうえで効率的である。MEMSの教育現場としては、むしろ出来上がった試作品の検証と解析に時間を費やすべきであろう。特に、多様性を求められるMEMS試作ラインを自前で運用することは、それだけで相当な費用とエネルギーを要し、その維持管理には相当数の専任者が必要である。この部分を見捨てて研究効率の上がらない施設数が増大することを避けなければならない。

2002年3月、(財)機械システム振興協会は、(財)マイクロマシンセンターがまとめた「平成13年度マイクロ・ナノ製造技術ファウンドリーネットワークシステム概念に

関する調査研究報告書」を発行している¹⁸⁾。この報告書では、MEMS分野で当初期待できる市場規模と巨額なプロセス設備投資のミスマッチが指摘され、新規参入障壁の低減化のためには、現在は無秩序に離散・発展している資産・技能を集約して最大効果をねらうネットワークシステム(FNS)が必要であると提言されている。FNSの考え方では、大学や公的機関の研究と企業の開発がひとつのネットワークの中に組み込まれている。ネットワークを構築する場合に、市場の大きさや資金力に見合ったサイズが望ましく、模範とすべきは欧州のシステムであろう。

7 - 4

MEMS研究のベンチャー的側面の促進

MEMSの一側面として、大学の研究指向と産業界の要請が同じ方向にあり、実際に大学における研究と企業における研究開発とが大きくは異なっていないことは注目すべき点である。すなわち、MEMSは産学協同研究の格好の研究テーマであり、かつ、小さいサイズの企業での製品化あるいはベンチャー企業を起こすのに向いていることも見逃せない。

特に、医療・バイオ関連技術はこれまでに最も多くベンチャー企業が生まれている分野であり、米国で約1300社、日本でもこれまでに200社を超えている²⁶⁾が、の中にはMEMS技術で起業した例も含まれている。例えば、プロテインウェブ社は、ゲノム(遺伝子情報)研究で不可欠なたんぱく質の結晶化を行なう μ -TAS(μ -Total Analysis)技術で、2000年に起業した例である²⁷⁾。シリコン上の溝や窪みにたんぱく質の溶液を流して結晶化させるチップを商品化中であり、将来は自ら新薬開発もめざすという。この分野に

はベンチャー推進協会も存在し²⁸⁾、ビジネスプランのコンペも開かれる²⁹⁾など、資金調達の道が最も開かれている分野と言える。

7 - 5

国内で利用できるサービス

現在の日本において研究開発を進める上で、もし資金さえ調達できれば、大学でも民間ファウンドリでも、利用に制限があるところはほとんど無い。しかし、現実には、設備を持たない大学やベンチャーを起こそうという研究者が試作を行なうには資金的障壁が高いという不満は絶えない。今後、大学等公的機関をより積極的に共同利用する姿勢が解決の糸口と考え

られる。

実際に誰でも利用できるサービスの例を紹介する。大学施設としては7 - 3項で記した2大学が最も多くの実績を有する。電気学会は、MICS (Micromachine Integrated Chip Service) というマイクロマシン集積チップサービスを行っている¹²⁾。これは、複数の試作を1枚のマスク上で共同で行なうことにより、試作費用を軽減するのが目的である。ただし、使用できる技術の制約が多いことはいたしかたない。また、文部科学省は、ナノテクノロジー総合支援プロジェクトとして14機関を指定し、誰でも無料でそれらの施設を利用できる支援制度を設けているが、この中にもMEMS試作技術

が含まれている³⁰⁾。大学以外の公的機関では共有化への取り組みは不十分と言えるが¹⁸⁾、地方自治体が行っているサービスとして大阪府立産業技術総合研究所のマイクロデバイス開発支援センターの例がある³¹⁾。

すでに、一部の大学や民間企業は、欧米や台湾ファウンドリでのMEMS試作発注を経験しており、国内の試作環境の不備を補う形での海外提携も始まっている。しかし、もし日本が国内で研究開発できる力を失えば、開発から生産まで直結する可能性のあるMEMS事業は、最初から国内の産業空洞化を助長する技術になりかねない。

8. おわりに

MEMS研究開発は、日本が得意としてきたマイクロマシンやセンサ技術に、マイクロエレクトロニクス、ナノサイエンス等の技術を集積化して、新しいシステムを創製するものである。そこには、どうやって (how) 作製するかよりも、何を (what) 作製するかを議論するシステム工学が必要であり、発想、設計、試作のすべてをクリヤーする総合的な設計力をもつ人材の育成が重要である。また、立ち上がりつつある日本の大学および民間ファウンドリの機能が、ベンチャーをはじめとする産業界の活性化に有効に働くようになるためには、欧州を模範とするような有機的な組織作りが必要であると考えられる。

謝 辞

本稿をまとめるに当たって、東北大学江刺正喜教授、東京大学安藤繁教授、東京農工大学池田恭一教授、立命館大学杉山進教授、大日本印刷株式会社高野敦氏、三菱電機株式会社木股雅章氏、住友金

属工業株式会社大麻隆彦氏に有意義なご意見をいただきました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Microelectromechanical Systems: Technology and Applications, MRS BULLETIN, Vol.26, No.4, pp.282-340 (2001.4)
- 2) D. Bishop et al., The Little Machines That Are Making It Big, Physics Today, Vol.54, No.10, p.38 (2001)
- 3) 江刺正喜、システムLSIの差異化技術へ3次元構造や異種材料を導入、日経マイクロデバイス、2001年9月号、p.125
- 4) 池田恭一、連載シリコン・マイクロマシン技術入門、Design Wave Magazine、2001 July p.101, September p.99, November p.84
- 5) Silicon Light Machine社HP、<http://www.siliconlight.com/htmlpgs/glvtechframes/>
- 6) 江刺正喜、MEMSの最新技術動向と応用展望、電子材料、Vol.41, No.5, p.18 (2002)
- 7) 科学技術庁科学技術政策研究所

企画課編、最新科学技術キーワード、マイクロマシン、p.42 (1992)

- 8) 和賀三和子、米国におけるMEMSプログラム、SEMIニュース、Vol.17, No.4, #12 (2001), <http://www.semi.org/web/>
- 9) Texas Instruments社HP、<http://www.ti.com/corp/docs/company/history/>
- 10) 平野隆之、ここまで来たマイクロマシン技術、日本機械学会誌、Vol.105, No.1004, p.36 (2002.7)
- 11) 例えば、サイバネットシステム(株)、MEMS設計解析ソフトウェアMEMS ProTM、<http://www.cybernet.co.jp/memscap/>
- 12) 電気学会マイクロマシン集積チップ標準化共同研究委員会、<http://www.e-mics.com/>
- 13) 木股雅章 他、基礎から応用へ広がるマイクロマシン、三菱電機技報、Vol.75, No.11, pp.2-6 (pp.698-702) (2001)
- 14) 日本IBM(株)、<http://www.ibm.com/news/jp/2002/06/06063.html>
- 15) Power MEMS 2002 Program

- (<http://www.getinet.org/geti/>)
- 16) A. H. Epstein et al., Macro Power from Micro Machinery, Science, Vol.276, p.1211 (1997.5)
 - 17) A. Pisano, MEMS Rotary Engine Power System: Project Overview and Recent Research Results (<http://www.me.berkley.edu/faculty/pisano/>)
 - 18) 財マイクロマシンセンター、マイクロ・ナノ製造技術ファウンドリーネットワークシステム概念に関する調査研究報告書 (平成14年3月)
 - 19) 江刺正喜、COMS2001 報告、<http://www.semi.org/web/>
 - 20) 和賀三和子、アジアにおけるMEMS研究開発の勃興、SEMI ニュース、Vol.18, No.1, #17 (2002), <http://www.semi.org/web/>
 - 21) H. G. Craighead, Nanoelectromechanical Systems, Science, Vol.290, No.5496, p.1532 (2000.11)
 - 22) 小野崇人 他、MEMSからNEMSへ、応用物理、Vol.71, No.8, p.982 (2002.8)
 - 23) 前田英明、新しい化学反応場としてのマイクロ空間、AIST Today, Vol.2, No.8, p.9 (2002.8)
 - 24) 株式会社三菱総合研究所、米国ナノテクノロジー分野研究開発の推進戦略に関する調査：成果報告書、(2001.3)
 - 25) 高野敦、MEMSファウンドリーサービスの現状、電子材料、Vol.41, No.5, p.22 (2002)
 - 26) 小田切宏之 他、日本のバイオ・ベンチャー企業—その意義と実態—、文部科学省科学技術政策研究所 DISCUSSION PAPER No. 22 (2002.6)、<http://www.nistep.go.jp/>
 - 27) プロテインウエーブ社HP、<http://www.pro-wave.co.jp/>
 - 28) 日本バイオベンチャー推進協会、<http://www.jbda.jp/>
 - 29) バイオビジネスコンペJAPAN実行委員会、<http://www.mydome.or.jp/biocompe/>
 - 30) 文部科学省ナノテクノロジー総合支援プロジェクト、http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/14/02/020213g.htm
 - 31) 大阪府立産業技術総合研究所マイクロデバイス開発支援センター、<http://www.tri.pref.osaka.jp/group/zairyou/microd1.htm>

.....

科学技術動向センターとは

平成13年1月より内閣府総合科学技術会議が設置され、従来以上に戦略性を重視する政策立案が検討されています。科学技術政策研究所では、戦略策定に不可欠な重要科学技術分野の動向に関する調査・分析機能を充実・強化するため1月より新たに「科学技術動向研究センター」を設立いたしました。本センターでは、第2期「科学技術基本計画」に示されたライフサイエンス、情報通信等の重点分野の最新動向に係る情報の収集や今後の方向性についての調査・研究に、下図に示すような体制で取り組んでいます。

センターがとりまとめた成果は、適宜、総合科学技術会議、文部科学省へ政策立案に資する資料として提供いたします。

センターの具体的な活動は以下の3つです。

1

「科学技術専門家ネットワーク」による科学技術動向分析

わが国の産学官の研究者を「専門調査員」に委嘱して（2002年度実績約2800人）、インターネットを利用して科学技術動向に関する幅広い情報を収集・分析する体制「科学技術専門家ネットワーク」をより運営しています。このネットワークを通じ、専門調査員より国内外の学会会合、学術雑誌などで発表される研究成果、注目すべき動向や今後の科学技術の方向性等に関する意見等を広く収集いたします。

これらの情報に、センターが独自に行う調査・研究の結果を加

え、毎月1回、「科学技術動向」としてまとめ、総合科学技術会議、文部科学省を始めとした科学技術関係機関等に配布いたします。なお、この資料は<http://www.nistep.go.jp>において公開します。

2

重要科学技術分野・領域の動向の調査研究

今後、国として取り組むべき重点事項、具体的な研究開発課題等を明確にすることを目的とし、重要な科学技術分野・領域に関するキーテクノロジー等を調査・分析します。

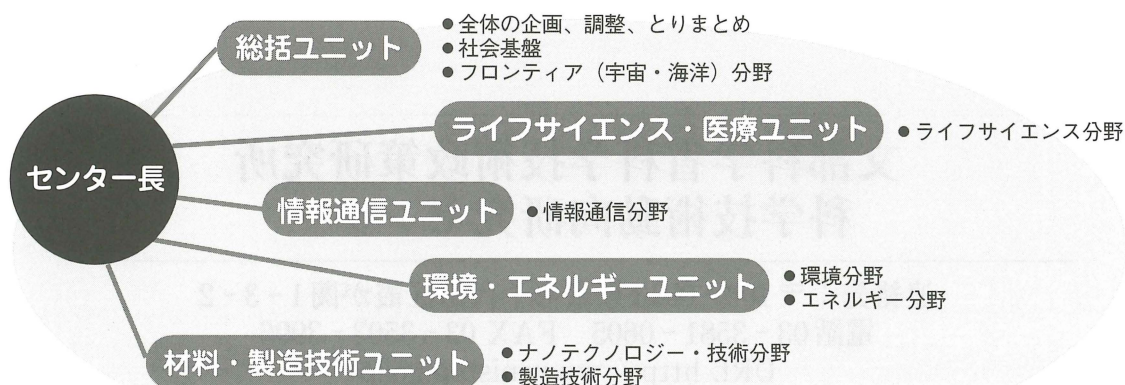
さらに、重要な科学技術分野・領域ごとの科学技術水準を欧米先

進国と比較し、わが国の科学技術がどのような位置にあるのかについての調査・分析も行います。

3

技術予測に関する調査研究

当研究所では、科学技術の長期的将来動向を総合的に把握するため、デルファイ法による技術予測調査をほぼ5年ごとに実施しています。これは、今後30年間の重要技術を抽出して、重要技術の重要性評価や実現予測時期を分析するものであり、センターは、多くの専門家の協力により本調査を引き続き実施いたします。



*それぞれのユニットには、職員その他、客員研究官（非常勤職員）を配置。

*センターの組織、担当分野などは適宜見直しを行う。

SCIENCE & TECHNOLOGY TRENDS

September 2002
(NO.18)

Science & Technology Foresight Center

National Institute of Science and
Technology Policy (NISTEP)
Ministry of Education, Culture, Sports,
Science and Technology

※このレポートについてのご意見、お問い合わせは、下記のメールアドレスまたは電話番号までお願いいたします

なお、科学技術動向のバックナンバーは、下記のURLにアクセスいただき「報告書一覧 科学技術動向・月報」でご覧いただけます。

文部科学省科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター

連絡先：〒100-0013 東京都千代田区霞が関1-3-2
電話 03-3581-0605 FAX 03-3503-3996
URL <http://www.nistep.go.jp>
Email stfc@nistep.go.jp

- ▶ Life Sciences
- ▶ Information & Communication Technologies
- ▶ Environmental Sciences
- ▶ NanoTechnology & Materials
- ▶ Energy
- ▶ Manufacturing Technology
- ▶ Infrastructure
- ▶ Frontier